Ministry of Education and Science of Ukraine

National University of Food Technologies

92th International scientific conference of young scientist and students

"Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution"

April, 20–24 2026

Part 2

Kyiv, NUFT, 2026

Міністерство освіти і науки України

Національний університет харчових технологій

92-а Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів

"Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті"

20–24 квітня 2026 р.

Частина 2

Київ НУХТ 2026

92st International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 20–204, 2026. Book of abstract. Part 2. NUFT, Kyiv.

The publication contains materials of 91th International scientific conference of young scientists and students "Youth scientific achievements to the 21st century Nutrition problem solution".

It was considered the problems of improving existing and creating new energy and resource saving technologies for food production based on modern physical and chemical methods, the use of unconventional raw materials, modern technological and energy saving equipment, improve of efficiency of the enterprises, and also the students research work results for improve quality training of future professionals of the food industry.

The publication is intended for young scientists and researchers who are engaged in definite problems in the food science and industry.

ISBN 978-966-612-358-2

© NUFT, 2026

Матеріали 92-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 20–24 квітня 2026 р. – Київ: НУХТ, 2026. – Ч.2. – 347 с.

Видання містить матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті".

Розглянуто проблеми удосконалення існуючих та створення нових енерго- та ресурсоощадних технологій для виробництва харчових продуктів на основі сучасних фізико-хімічних методів, використання нетрадиційної сировини, новітнього технологічного та енергозберігаючого обладнання, підвищення ефективності діяльності підприємств, а також результати науково-дослідних робіт студентів з метою підвищення якості підготовки майбутніх фахівців харчової промисловості.

Розраховано на молодих науковців і дослідників, які займаються означеними проблемами у харчовій науці та промисловості.

ISBN 978-966-612-358-2

© НУХТ, 2026

Scientific Committee

Chairman:
Oleksandr Shevchenko, dr., prof., Ukraine
Members:
Ana Leahu, dr., prof., Romania
Bilal Khalid, dr., Thailand
Cristina Popovici, dr., assoc. prof., Moldova
Dumitru Mnerie, dr, prof., Romania
Elza Omarova, dr., assoc. prof., Azerbaijan
Emmanuel Kehinde Oke, PhD, Nigeria
Eva Ivanišová, dr., Slovakia
Galyna Polishchuk, dr, assoc. prof., Ukraine
Galyna Simakhina, dr., prof., Ukraine
Georgiana Codina, dr., prof., Romania
Greta Adamczyk, dr., assoc. prof., Poland
Huub Lelieveld, Netherlands
Igor Yakymenko, dr., prof., Ukraine
Jasmina Lukinac, dr., assoc. prof., Croatia
Lada Shirinian, dr., prof., Ukraine
Maciej Kluz, dr., Poland
Mircea Oroian, dr., prof., Romania
Margareta Coteata, dr., assoc. prof., Romania
Nadiia Levytska, dr., prof., Ukraine
Nusrat Kurbanov, dr., assoc. prof., Azerbaijan
Oleksandr Gavva, dr., prof., Ukraine
Sergii Tokarchuk, dr., assoc. prof., Ukraine
Serhii Baliuta, dr., prof., Ukraine
Sonia Amariei, dr., prof., Romania
Stanka Damianova, dr., assoc. prof., Bulgaria
Stefan Junge, dr., prof., Germany
Svitlana Bondarenko, dr., prof., Ukraine
Tetiana Pyrog, dr., prof., Ukraine
Valerii Myronchuk, dr., prof., Ukraine
Viktor Stabnikov, dr., prof., Ukraine
Volodymyr Kovbasa, dr., prof., Ukraine
Volodymyr Zavialov, dr., prof., Ukraine
Yevgen Shtefan, dr., prof., Ukraine

Organizational committee

Anastasiia Shevchenko, Ukraine
Artur Mykhalevych, dr., Ukraine
Mychailo Arych, dr., assoc. prof., Ukraine
Mychailo Grama, dr., Ukraine
Oleg Galenko, dr., assoc. prof., Ukraine
Oleh Bortnichuk, Ukraine
Oleksandr Liulka, dr., assoc. prof., Ukraine
Oleksii Gubenia, dr., assoc. prof., Ukraine
Roman Gryschenko, Ukraine
Sergii Tokarchuk, dr., assoc. prof., Ukraine
Viktor Udymovych, dr., Ukraine
Yaroslav Vdovenko, master student

Науковий комітет

Голова:
Олександр Шевченко, д.т.н., проф., Україна

Ана Леаху, д-р, проф, Румунія
Білал Халіб, Таіланд
Валерій Мирончук, д.т.н., проф., Україна
Віктор Стабніков, д.т.н., проф., Україна
Володимир Зав'ялов, д.т.н., проф., Україна
Володимир Ковбаса, д.т.н., проф., Україна
Галина Поліщук, д.т.н, доцент, Україна
Галина Сімахіна, д.т.н., проф., Україна
Георгіана Кодіна, д-р, проф, Румунія
Грета Адамчик, д-р, доцент, Польща
Думітру Мнеріе, д-р, проф., Румунія
Ева Іванішова, д-р., Словаччина
Ельза Омарова, к.т.н., доц., Азербайджан
Еммануель Кехінде Оке, д-р, Нігерія
Ігор Якименко, д.б.н., проф., Україна
Крістіна Попович, к.т.н., доц., Молдова
Лада Шірінян, д.е.н., проф., Україна
Маргарета Котяте, д-р, доцент, Румунія
Мачей Клуж, д-р, проф., Польща
Мірча Ороян, д-р, проф, Румунія
Нусрат Курбанов, к.т.н., доц., Азербайджан
Олександр Гавва, д.т.н., проф., Україна
Олексій Губеня, к.т.н., доцент
Світлана Бондаренко, д.хім.н., доц., Україна
Сергій Балюта, д.т.н., проф., Україна
Сергій Токарчук, к.т.н., доцент., Україна
Соня Амарей, д-р, проф, Румунія
Станка Дамянова, д-р, доц., Болгарія
Стефан Юнге, д-р, проф, Німеччина
Тетяна Пирог, д.б.н., проф., Україна
Хууб Лелівелд, д-р, Нідерланди
Ясміна Лукінак, д-р, доц., Хорватія

Організаційний комітет

Артур Михалевич, PhD
Віктор Удимович, PhD
Михайло Арич, к.е.н., доцент
Михайло Грама, PhD
Олег Бортнічук, к.т.н, доцент
Олег Галенко, к.т.н, доцент
Олександр Люлька, к.т.н, доцент
Олексій Губеня, к.т.н, доцент
Роман Грищенко, доцент
Сергій Токарчук, к.т.н., доцент
Ульяна Бандура, к.т.н., доцент
Ярослав Вдовенко, магістрант

Content

13. Engineering of food, biotechnology and pharmaceutical production	9
13.1. Machines and apparatus for food, pharmaceutical and biotechnological productions	10
13.2. Computer technologies of design and manufacture of packaging	46
13.3. Technological equipment and computer design technology	76
14. Mechatronics and packaging technique	110
15. Processes and apparatus of food productions	148
16. Physical and mathematical principles of technological processes	184
16.1. Physics and occupational safety	85
16.2. Higher mathematics	202
17. Chemistry and chemical technology	218
17.1. Chemistry	219
17.2. Chemical technology	250
18. Power equipment, heat and power systems of industry enterprises	295
18.1. Industrial thermal power engineering	296
18.2. Power supply and energy management	316
18.3. Renewable energy is basis of distributed generation	338
19. Automation and computer-integrated technologies	347
19.1. Automation and computer-integrated technologies	348
19.2. Information technology	382

Зміст

13. Інжиніринг харчових, біотехнологічних та фармацевтичних виробництв	9
13.1. Машинобудування. Машини і апарати харчових, фармацевтичних та біотехнологічних виробництв	10
13.2. Комп'ютерні технології дизайну та виготовлення упаковки	46
13.3. Технологічне обладнання та комп’ютерні технології проектування	76
14. Мехатроніка і пакувальна техніка	110
15. Процеси та апарати харчових виробництв	148
16. Фізико-математичні основи технологічних процесів	184
16.1. Фізика та професійної безпеки	85
16.2. Вища математика	202
17. Хімія та хімічні технології	218
17.1. Хімія	219
17.2. Хімічні технології	250
18. Енергетичне обладнання, системи тепло-електропостачання промислових підприємств	295
18.1. Промислова теплоенергетика	296
18.2. Електропостачання і енергоменеджмент	316
18.3. Відновлювальна енергетика – основа розподіленої генерації	338
19. Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології	347
19.1. Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології	348
19.2. Інформаційні технології	382

Section 13

Engineering of food, biotechnology and pharmaceutical production

Секція 13

Інжиніринг харчових, фармацевтичних та біотехнологічних виробництв

13.1.

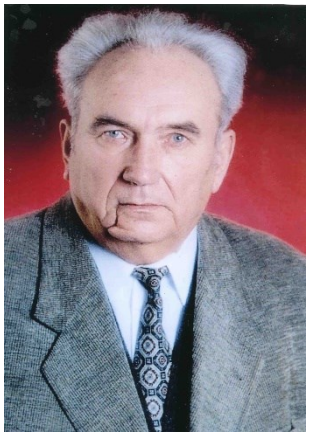
Machines and apparatus of food, pharmaceutical and biotechnological production

13.1.

Машинобудування. Машини і апарати харчових, фармацевтичних та біотехнологічних виробництв

Machines and apparatus of food production

Машини і апарати харчових виробництв



"*Інженера та вченого три риси єднають:*
життєва потреба творити нове,
вміння час берегти й насичувати,
вміння сповнити творчу роботу
змістом новим – радше буттєвим,
ніж побутовим"

(Володимир Аністратенко,
завідувач кафедри у 1974-98 роках)

До 100-річчя від дня народження професора Володимира Аністратенка

28 липня виповниться 100 років із дня його народження професора Володимира Аністратенка.

Володимир Аністратенко – фахівець у галузі бродильних виробництв, лауреат державної премії у галузі науки і техніки, завідувач кафедри машин і апаратів харчових виробництв у 1974–1998 роках.

Народився Володимир Аністратенко 28 липня 1926 у Знам'янці. Під час другої світової війни, у сімнадцятирічному віці призваний до армії і направлений на навчання до училища стрільців-радистів. Згодом служив у штурмовій авіаційній дивізії, здійснив пів сотні бойових вильотів, брав участь в боях за звільнення від фашистів України, Молдови, Румунії, Угорщини та Австрії.

Після війни Володимир вступив до нашого Університету, який успішно закінчив у 1951 році. Пізніше працював інженером-технологом на хлібозаводі. У 1960 році вступив до аспірантури, працював у команді корифеїв Гліба Знаменського та Всеволода Стабнікова, а у 1964 році захистив кандидатську дисертацію із удосконалення контактних лускоподібних пристроїв ректифікаційних колон.

У 1973 році Володимир Аністратенко захистив докторську дисертацію із удосконалення брагоректифікаціних колонних апаратів.

Із 1974-98 роках професор Аністратенко керував кафедрою машин і апаратів харчових виробництв. Це ім'я у 1938 році дав кафедрі його вчитель – Гліб Знаменський, проте після війни бренд був тимчасово призабутий, і справедливо повернутий Володимиром Аністратенком у 1974 році.

За лідерства професора Аністратенка на Кафедрі розвинуті класичний напрям інжинірингу цукрових виробництв, створено навчальні лабораторії бродильних, м'ясних і молочних виробництв, розширено напрям

хлібопекарських виробництв, започатковано напрям мембранних методів розділення рідких середовищ. Вперше в Університеті впроваджено навчальне телебачення. А у середині 90-х, як логічне продовження наукових шкіл професорів Олександра Кірова та Всеволода Стабнікова створено нову спеціальність із обладнання біотехнологічних та фармацевтичних виробництв.

Володимир Аністратенко був добре відомий у виробничих та управлінських колах, завдяки цьому Кафедру машин і апаратів добре знали в Україні та за кордоном. Нам є чому повчитися у шановного професора – відповідальності, працелюбству, доброчесності, дипломатичності та відкритості.

Пишаємося нашою історією і видатними персоналіями, примножуємо минулі здобутки, наповнюємо сьогодення і формуємо майбутнє.

Дякуємо Професоре!

Аналіз роботи шприців із роторною системою нагнітання в′язких харчових мас в рукавну оболонку

Віктор Мусійчук, Олександр Гавва, Олександр Чепелюк
Національний університет харчових технологій

Вступ. На якість готового продукту у рукавних оболонках (збереження початкової структури маси, відсутність в продукті повітряних включень) суттєво впливає робота вакуумних шприців з різними системами нагнітання.

Матеріали та методи. Об'єктом досліджень є конструкція шприців з роторною системою нагнітання для наповнення оболонок в′язкими та в′язкопластичними харчовими масами. Робота обладнання досліджена методом фізичного моделювання – виконано узагальнення виробничого досвіду, отриманого протягом тривалого часу його експлуатації при змінних режимах роботи.

Результати дослідження. На даний час на підприємствах харчової промисловості експлуатується значна кількість вакуумних шприців безперервної дії з різними системами нагнітання – шнековою, роторною (ексцентрико-лопатевою), зубчастою та поршневою, які відрізняються між собою певними конструктивними особливостями, і відповідно робочими характеристиками, забезпечують високу продуктивність, безперервність роботи та видалення включень повітря.

Шприці з ексцентрико-лопатевими витискувачами не впливають на властивості фаршу, не викликають розшарування його компонентів і можуть використовуватися при наповненні оболонок різними видами в′язкопластичних харчових мас. Їх певним недоліком є недостатній рівень вакуумування маси, що цілком допустиме при формуванні багатьох видів продуктів, в тому числі ковбасних виробів, за винятком групи варених ковбас. Хоча при наявності в лініях кутерів, мікрокутерів і фаршмішалок із системами вакуумування і для цього продукту досягається прийнятний результат. Але при використанні шприців з роторною системою нагнітання для харчових мас з високою текучістю спостерігається значне потрапляння у продукт включень повітря. Це пов'язано з тим, що частково включення повітря надходять в бункер шприца уже разом з продуктом, в який вони попали на попередніх етапах обробки, а також через специфіку роботи ротора – для рідких мас неможливо забезпечити вакуумування, оскільки через малу їх в'язкість вони потрапляють до відстійника вакуумної системи, а сам ротор на першому етапі утворення міжлопатевого простору працює як вакуум-насос, створюючи розрідження в цій зоні і затягуючи повітря з системи вакуумування (це зокрема відбувається через зміщення каналу, що з'єднує бункер із ротором і ділянки утворення камер). Потім повітря потрапляє в зону надходження продукту і змішується з ним, негативно впливаючи на його якісні показники.

Висновок. Для запобігання потраплянню у продукт включень повітря при використанні шприців з ексцентрико-лопатевим нагнітанням для наповнення рукавних оболонок харчовими масами з високою текучістю доцільно герметизувати канал, який з'єднує вакуумну систему з ротором.

Література.

Heinz, Gunter & Hautzinger, Peter. (2007). Meat Processing Technology for Small- to Medium-Scale Producers. Food And Agriculture Organization Of The United Nations Regional Office For Asia And The Pacific, RAP PUBLICATION 2007/20. 470 p.

Kuzmin, Oleh & Pasichnyi, Vasil & Levkun, Kateryna & Riznyk, Anastasiia. (2017). Determination of the factor space of the process of extrusion of sausage products. Ukrainian Journal of Food Science. 5. 10.24263/2310-1008-2017-5-1-8.

Crystal structures of solids: characteristics and their influence on material properties

Esmira Mustafayeva
Azerbaijan State Economic University, Baku, Azerbaijan

The crystal structures of solids play a fundamental role in defining their physical and mechanical characteristics [1]. These structures consist of regularly arranged atoms or molecules, whose configuration depends on the type of crystal lattice and the nature of the chemical bonding. Analyzing crystal lattice parameters-such as packing density, unit cell geometry, and the presence of defects-makes it possible to predict and optimize material properties including strength, plasticity, and thermal resistance [2]. Additional factors, such as lattice defects, anisotropy of properties, and the formation of intermediate phases during changes in temperature or pressure, further complicate material analysis and design. Investigating these phenomena supports the development of more efficient and application-specific materials, ranging from construction materials to advanced high-performance composites [3].

The study aims to analyse the influence of different crystal structures of solids on their physical and mechanical properties to develop more efficient materials. In this study, existing data and models of crystal structures to study their influence on material properties were analysed.

The study determined that the type of crystal lattice significantly affects the mechanical and thermal properties of materials.

The investigation of solid crystal structures and their impact on material properties was conducted through the analysis and synthesis of existing data on lattice types, crystal defects, and material behavior under varying temperature and pressure conditions, enabling a more comprehensive understanding of their characteristics and performance [4]. The study examined various crystal structures, including cubic, hexagonal, and rhombic lattices, which served as a foundation for comparing materials with different lattice arrangements. Representative materials such as copper, aluminum, zinc, magnesium, and vanadium were chosen to illustrate these structures and to enable a detailed analysis of their crystallographic features.

The dimensions and geometry of unit cells, along with their variation under different temperature conditions, were examined using theoretical crystal lattice models. The thermal behavior of materials was assessed through analysis of existing data on thermal expansion, changes in thermal conductivity, and temperature-induced phase transitions, which reflect the relationship between unit cell size and temperature. This methodology made it possible to evaluate the thermal expansion potential and stability of various materials without the need for experimental measurements.

The research demonstrated that the crystal lattice type plays a crucial role in determining material properties. The findings indicate that materials with a cubic lattice, owing to their high atomic packing density, exhibit enhanced strength and rigidity. In contrast, materials with a hexagonal lattice, although characterized by a lower packing density, tend to show greater ductility. These results align with previously reported studies, confirming that lattice structure has a strong influence on mechanical properties such as strength and elasticity.

Conclusions.

1. The investigation of solid crystal structures confirmed that the crystal lattice type plays a decisive role in shaping the physical and mechanical properties of materials. Lattice configurations such as cubic, hexagonal, and rhombic define atomic packing density and the

nature of interatomic interactions. High packing density in cubic lattices leads to increased material strength, whereas hexagonal lattices are associated with enhanced ductility.

2. The geometry and dimensions of unit cells were also found to have a substantial influence on material behavior. Materials characterized by larger unit cells tended to exhibit reduced strength but improved ductility, a combination that is particularly valuable in applications requiring flexibility and the ability to undergo deformation. Techniques such as X-ray diffraction and scanning electron microscopy were employed to analyze these characteristics in detail.

3. The nature of chemical bonding within a crystal lattice-metallic or ionic-plays a key role in defining material properties such as electrical conductivity and hardness. Metallic bonding is associated with high electrical conductivity and good ductility, whereas ionic bonding typically results in high hardness and low electrical conductivity in the solid state.

References

1. Xia, H., Meng, J., Liu, J., Ao, X., Lin, S., Yang, Y. 2022. Evaluation of the equivalent mechanical properties of lattice structures based on the finite element method. *Materials*, 15(9), 2993. https://doi.org/10.3390/ma15092993

2. Guarneri, L., Jakobs, S., von Hoegen, A., Maier, S., Xu, M., Zhu, M., Wahl, S., Teichrib, C., Zhou, Y., Cojocaru-Mirédin, O., Raghuwanshi, M., Schön, C.-F., Drögeler, M., Stampfer, C., Lobo, R.P.S.M., Piarristeguy, A., Pradel, A., Raty, J.-Y., Wuttig, M. 2021. Metavalent bonding in crystalline solids: How does it collapse? *Advanced Materials*, 33(39), 2102356. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adma.202102356

3. Lu, P., Ge, Y., Jin, X., Li, P., Ji, X., Zhao, D., Wang, Z., Fan, X. 2022. A dislocation density-based model for the temperature dependent anomalous behaviors of nickel-based single-crystal superalloy. *Mechanics of Materials*, 170, 104326. https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2022.104326

4. Li, T., Jarrar, F., Al-Rub, R.A., Cantwell, W. 2021. Additive manufactured semi-plate lattice materials with high stiffness, strength and toughness. *International Journal of Solids and Structures*, 230-231(7646), 111153. https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2021.111153

Впливу окремого обладнання лінії виробництва сиру кисломолочного на утворення сирного пилу

Марія Шинкарик, Олег Кравець, Микола Стадницький, Роман Паперняк
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

Вступ. Втрати сировини у вигляді сирного пилу впливають на собівартість готової продукції, ускладнюють подальшу переробку сироватки та підвищують її забруднюючу дію.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження була зміна кількісного складу сирного пилу у процесі виробництва сиру кисломолочного з масовою часткою жиру 5%. Зразки відбирали при виробництві продукту на механізованій лінії у відповідності з ДСТУ 4554: 2006 «Сир кисломолочний. Технічні умови». Відбір зразків сироватки здійснювали на виході із наступного обладнання лінії: сировиготовлювач; кулачковий насос; охолоджувач; стрічковий транспортер.

Результати. Отримані дані свідчать, що під час розрізання згустку та перемішування сирного зерна утворюється у середньому 1,1 кг у розрахунку на 1 м.куб. сироватки. Враховуючи, що середній кінцевий вміст сирного пилу в сироватці становить 4,78 кг/м.куб., визначили, що в сировиготовлювачі утворюється близько 25% від загальної кількості сирного пилу.

Максимальна кількість сирного пилу утворюється при транспортуванні сирного зерна з сироваткою за допомогою кулачкового насоса – 2,96 кг/м.куб. Це становить 62% від усієї маси сирного пилу, утвореного при виробництві сиру кисломолочного.

У процесі охолодження сирного зерна в трубчастому теплообмінному апараті утворюється 0,62 кг/м.куб. сирного пилу, або 13%, від його загальної кількості.

Таким чином утворення сирного пилу відбувається під час таких процесів як розрізання та перемішування сирного зерна в сировиготовлювачі, транспортування суспензії за допомогою кулачкового насосу та охолодження в трубчастому теплообмінному апараті [1]. Руйнування сирного зерна та утворення сирного пилу при відділення сироватки на перфорованому барабані та стрічковому транспортері не спостерігається.

Той факт, що максимальна кількість сирного пилу утворюється при транспортуванні сирного зерна з сироваткою за допомогою кулачкового насоса, свідчить про значний механічний вплив у даному обладнанні.

Таким чином перспективним напрямком зниження рівня руйнування сирного зерна при виробництві сиру кисломолочного є використання теплообмінних апаратів із мінімальним гідравлічним опором. У результаті цього відпаде необхідність у створені високого тиску суспензії. За таких умов для транспортування сирного зерна із сироваткою можна буде використовувати насоси із меншою механічною дією на дисперсну фазу.

Висновки. Для зниження рівня утворення сирного пилу слід з метою охолодження сирного зерна використовувати теплообмінні апарати із мінімальним гідравлічним опором, що дозволить використовувати насоси більш м'якої дії.

Література

1. Shynkaryk, M., Kravets, O., Papernyak, R., & Lukiyanchuk, B. (2026). Determining the influence of equipment used in modern cottage cheese production lines on the quantitative and dispersed composition of cheese dust. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(11 (139), 14–22.

Аналіз конструктивних особливостей дозатора начинок потокової лінії виробництва листкових виробів RONDO DOGE

Сергій Зозуля, Олена Чепелюк
Національний університет харчових технологій

Вступ. Актуальність роботи полягає в необхідності підвищення точності дозування начинок, стабільності роботи обладнання та якості готової продукції шляхом модернізації конструкції дозувального пристрою лінії Rondo Doge.

Матеріали та методи. Використані аналітичні методи для опису течії неньютонівських рідин на основі реологічних моделей (модель Гершеля-Балклі); методи імітаційного моделювання з використанням програмного комплексу SolidWorks (модулі Flow Simulation та Simulation); CFD-аналіз для дослідження гідродинамічних характеристик потоку; метод скінченних елементів (МСЕ) для розрахунку напружено-деформованого стану конструкції.

Результати дослідження.

Розширення асортименту листкових виробів за рахунок різної начинки потребує урахування її реологічних властивостей. Для опису течії м'ясного і рибного фаршу, варення і сирної маси використано рівняння Гершеля – Балклі.

Основним конструктивним недоліком дозатора начинки лінії Rondo Doge є консольне закріплення шнекового нагнітача, однак встановлення додаткової опори впливає на гідродинаміку потоку, що може бути критичним для забезпечення однорідності безперервної смуги начинки.

Аналіз результатів моделювання базового варіанту дозуючого пристрою показав, що швидкість потоку стабілізується приблизно на рівні 0,01 м/с по всій довжині циліндра. Тиск зростає лінійно від 100 кПа до 170 кПа, досягаючи піку в місці переходу циліндричної частини корпусу в конічну, і надалі плавно знижується до мінімального на виході. Це свідчить про значні згинальні навантаження на вільний кінець шнека. Ефект буде посилюватися для більш в'язких мас та при збільшенні частоти обертання робочого органу. Така ситуація може призвести до похибки дозування >2% та ризику вібрацій.

Найбільші напруження виникають в зоні консольного закріплення вала, хоча їх значення і є вдвічі меншими за допустиме напруження для шнека.

Додаткова опора для модернізованої конструкції – радіальний підшипник ковзання з ультрависокомолекулярного поліетилену UHMWPE, встановлений на стрижнях на відстані 180 мм від торця приводного кінця шнека.

У варіанті з двома опорами потік сировини локально розділяється в зоні додаткової опори, що візуально створює зони інтенсивного зсуву та зміни напрямку потоку. Однак, середня швидкість потоку в обох випадках залишається майже ідентичною до зони насадок. Наявність опори створює зону локального підвищеного гідравлічного опору та, відповідно, зростання тиску (близько 165 кПа) безпосередньо перед цією перешкодою. Загальний тиск на виході вищий, ніж у консольному варіанті. Встановлення додаткової опори створює локальний стрибок тиску, але знижує прогин шнека та напруження вдвічі порівняно з базовим варіантом.

Висновок. Рішення про використання двох опор (перехід від консольної конструкції до двох опор шнека) обґрунтовується не міцнісними характеристиками, а технологічними вимогами до якості продукту та стабільності процесу екструзії. Уникнути негативних явищ, пов'язаних зі встановленням додаткової опори, можна за рахунок виконання її профілів обтічними або збільшення кроку шнеку перед нею.

Підвищення ефективності роботи машини роторного типу для виготовлення таблеток

Євгеній Савіцький, Олександр Чепелюк
Національний університет харчових технологій

Вступ. Досягнення мінімальних показників відбракування та відхилення від номінальної маси таблетки безпосередньо залежить від коректності налаштування параметрів механізму дозування та інших етапів пресування.

Матеріали та методи. Виконано аналіз і наукове узагальнення інформації з літературних джерел, на основі чого запропоновано удосконалення конструкції обладнання. Обчислювальний експеримент проведено в програмному комплексі EDEM, що базується на методі дискретних елементів і враховує контактну фізику, геометричну форму та розподіл часточок таблетувальної суміші. Вихідними даними є напрям і частота обертання ротора 70 об/хв та перемішуючих пристроїв живильника – по 50 об/хв.

Результати дослідження.

Результати моделювання демонструють динаміку руху частинок сировини всередині змішувального механізму. Спостерігається рівномірне заповнення робочого простору першого зворушувача. Частинки поступово та стабільно перетікають у камеру другого зворушувача, що відповідає реальному процесу.

Потік має виражену нерівномірність. У системі наявні як зони активного руху (1,18 м/с), так і зони накопичення матеріалу, де швидкість падає фактично до нуля. Так, у нижній частині вертикального бункера швидкість мінімальна, і частинки там майже не рухаються, утворюючи щільний шар. Найвища швидкість спостерігається у верхній частині бункера та під час переходу в горизонтальний жолоб.

Градієнтна шкала часу відображає тривалість перебування кожної часточки в системі – від моменту потрапляння до виходу з механізму. Це дозволяє точно визначити ділянки, де сировина затримується найдовше – зона біля стінок другого зворошувача (рис. 1). Якщо перший змішувач просто перенаправляє потік, то другий виконує роль вивантаження сипкого матеріалу в матриці ротора, часточки мають пройти через вузькі проміжки між лопатями та корпусом. Недосконалість геометрії і режимів роботи механізму призводить до скупчення часточок і збільшення часу перебування окремих з них до 3 с.

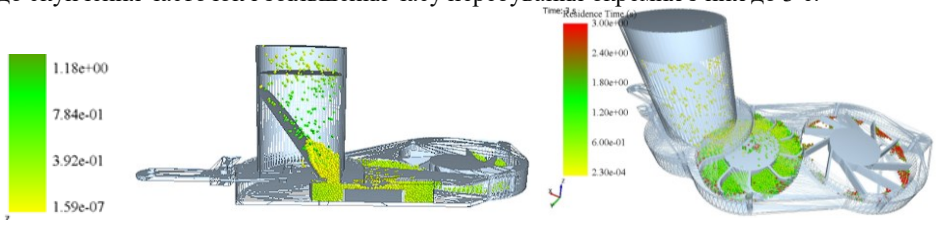


Рис. 1. Розподіл швидкостей (а)
і часу перебування часточок в нагнітальному пристрої (б)

Висновки. Через конструктивні особливості в нагнітальному механізмі можливе накопичення окремих часточок і їх перебування в машині понад мінімально необхідний час. Для усунення цієї проблеми варто розглянути можливість зміни геометрії корпуса і лопатей другого зворушувала та співвідношення частот обертання зворошувачів. Отримані результати дають змогу оцінити ефективність та оптимізувати геометрію зворушувачів для запобігання затримкам сировини.

Особливості сегрегації сумішей харчових продуктів у модулях дозування пакувальних машин-автоматів

Олександр Шоботенко, Олександр Гавва
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У споживачів набувають широкого вжитку харчові продукти, основою яких є сипкі суміші різних компонентів. Складові сумішей можуть мати різні значення об'ємної маси та геометричних розмірів. Такі особливості компонентів сумішей призводять до сегрегації як в бункері, так і в дозувальних пристроях. Для пакування таких продуктів у споживчу упаковку використовують різні технологічні прийоми. Для визначення ефективного методу пакування, що буде задовольняти споживача, виробника і вимогам стандартів, доречно провести дослідження щодо ступеня сегрегації компонентів у бункері, модулі дозування пакувальних машин-автоматів.

Матеріали і методи. За об'єкт дослідження прийнято бінарні суміші у вигляді сферичних частинок із різними значеннями об'ємної маси та співвідношенням часток компонентів. Дослідження проведено симуляційними методам моделювання із застосування програмного середовища EDEM. Ступінь сегрегації оцінювався за коефіцієнтом сегрегації (CV %).

Результати. Встановлено залежність між співвідношенням розмірів частинок та ступенем їх розшарування. При співвідношенні діаметрів до 30% суміш зберігає однорідність ($CV < 5\%$), що відповідає нормам для дитячих харчових продуктів ДСТУ 8598:2015.

Подальше зростання співвідношення розмірів (60–100%) ініціює інтенсивну сегрегацію з піком $CV = 13{,}855\%$ (при 90%). Значення $CV > 10\%$ свідчать про неоднорідність суміші продукції через критичне розшарування компонентів в об'ємі упаковки, що підтверджено візуалізацією в системі EDEM (рис. 1).

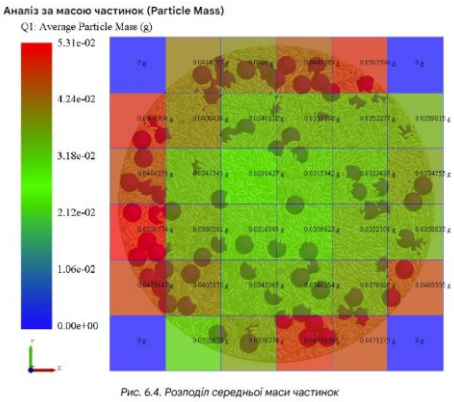


Рис. 1. Розподіл концентрації частинок у приймальній ємності (теплова карта)

Висновки. Симуляційним моделюванням сегрегації сумішей харчових продуктів встановлено граничне значення співвідношення діаметрів частинок на рівні 30%. Отримані дані рекомендується використовувати при проєктуванні дозувально-фасувальних модулів пакувальних машин для забезпечення показників якості сумішей.

Література

1. ДСТУ 8598:2015 Продукти молочні сухі для дитячого харчування. Суміші молочні сухі, адаптовані для дітей віком від народження до чотирьох місяців. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2019. 17 с
2. Geng L., Zuo J., Lu F., Jin X., Sun C., Ji J. Calibration and Experimental Validation of Contact Parameters for Oat Seeds for Discrete Element Method Simulations. Applied Engineering in Agriculture. 2021. Vol. 37(4). P. 605–614. DOI: https://doi.org/10.13031/aea.14381
3. Altair EDEM Documentation. Altair Engineering Inc. URL: https://help.altair.com/edem/ (дата звернення: 2026).

Дослідження процесу освітлення гарячого охмеленого пивного сусла у відцентровому сепараторі

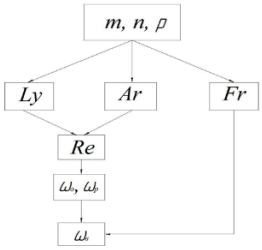
Артем Дівонько, Сергій Удодов
Національний університет харчових технологій , Київ, Україна

Вступ. Освітлення гарячого охмеленого пивного сусла є актуальним питанням в технології пивоваріння, оскільки від якісного здійснення даного процесу залежить якість кінцевого продукту, а отже і його визнання та популярність серед широких верств споживачів напою. .

Об'єкт і методи дослідження. Відцентровий сепаратор призначений для фільтрації гарячого охмеленого пивного сусла в полі дії відцентрових сил Проведено чисельне дослідження, що базується на використанні математичної моделі, яка являє собою систему диференціальних рівнянь, що описують процес осадження зважених часточок в полі дії відцентрових сил.

Результати і обговорення. Одним із найважливіших факторів, від якого залежить ефективність та якість проведення процесу освітлення гарячого охмеленого пивного сусла за допомоги відцентрового сепаратора – є швидкість обертання його робочого органу, а саме барабану сепаратора. У відцентровому сепараторі відбувається осадження білкового осаду за рахунок дії відцентрової сили. Остання у багато разів перевищує силу тяжіння і тому її використовують для прискорення процесу осадження зважених часточок у рідині. Створена математична модель процесу гідродинаміки освітлення пивного сусла та система для розв'язання диференціальних рівнянь, що описують гідродинамічні процеси, що відбуваються в середині відцентрового сепаратора.

Загальний вигляд математичної моделі процесу сепарації пивного сусла



Ly - розрахунок швидкості осідання за методом Лященка;
Ar – критерій Архімеда;
Fr - критерій Фруда (фактор розділення);
Re – критерій Рейнольдса;
ω0 - швидкість осідання;
ωр - розрахункова швидкість осідання;
m – маса часточки, кг; n- частота обертів барабана сепаратора, $хв^{-1}$; ρ- густина часточки, $кг/м^3$

Досліджено роботу відцентрового сепаратора для освітлення гарячого охмеленого пивного сусла при різних швидкостях обертання робочого органу. Зміна частоти обертів барабану сепаратора суттєво впливає на процес освітлення гарячого охмеленого пивного сусла, а саме - осадження зважених часточок із пивного сусла. Встановлені вплив та залежність між собою основних факторів, що впливають на ефективність роботи даного обладнання. Аналіз отриманих експериментальних даних, а також побудова графічних залежностей основних параметрів роботи відцентрового сепаратора в досліджуємому діапазоні частот обертання дозволили визначити, що найбільш економічно доцільним та раціональним параметром роботи відцентрового сепаратора для фільтрації гарячого охмеленого пивного сусла є діапазон частоти обертання барабана 7000-8000 об/хв.

Висновки. За результатами досліджень отримані числові значення та рівняння регресії, які можуть бути використані в практиці технології пивоваріння, а саме при фільтрації гарячого охмеленого пивного сусла за допомоги відцентрового сепаратора, а також у проектуванні та створенні нового та удосконаленні існуючого технологічного обладнання.

Структурний синтез функціональних модулів пакувальних машин методом генетичного алгоритму

Ігор Малик, Леся Марцинкевич, Олександр Гавва
Національний університет харчових технологій, м.Київ

Вступ. На сьогодні можна вважати, що однією з перспективних груп методів, що дають змогу ефективно розв'язувати завдання синтезу структури функціональних модулів і пакувальних машин загалом, є методи еволюційного пошуку, до яких відносять генетичні алгоритми і методи генетичного програмування. Застосування генетичних алгоритмів до синтезу структури функціональних модулів пакувальних машин має свої особливості, які пов'язані як з широким різноманіттям конструкцій, так і зі способом представлення хромосом.

Методи та методики. За об'єкт дослідження прийнято функціональний модуль формування споживчої упаковки із плоскоскладеної картонної заготовки. Методикою дослідження є аналітичне моделювання структури функціонального модуля генетичними прийомами.

Результати досліджень. Процес генерування структури функціональних модулів пакувальних машин є процедурою створення їх хромосом. Генотип функціонального модулю представляється значенням конкретних генів у хромосомі, а фенотип можна отримати, декодувавши кожну з хромосом. Для опису структури модуля потрібно визначити: функції, що виконує модуль; складові модуля, що виконують ці функції (базові механізми та їх комбінації, що утворені в результаті дії генетичних операторів); рухи, що виконують робочі органи та їх приводи; зв'язки між складовими модуля.

Встановлено що при синтезі структури генотип модуля є чутливим до дії оператора мутації. Тобто може виникати ситуація коли при відповідних змінах може утворюватися недопустима структура модуля. А тому під час виконання генетичного алгоритму рекомендується залишати деякі гени без змін.

Під час синтезу структури модуля за критерії оптимізації можна прийняти: коефіцієнт варіативності, коефіцієнт універсальності, коефіцієнт складності переналагодження, коефіцієнт складності, енерговитрати та матеріальні затрати.

Кінцева цільова функція визначатиметься як

$$\Phi = \sum_{k=1}^{l} f_k^{\alpha} \cdot w_k ,$$

де l – кількість часткових функцій оптимізації; f_k – значення часткової функції; $\alpha = 1$ та $\alpha = -1$ – при мінімізації та максимізації критерію відповідно; w_k – ваговий коефіцієнт.

Дієвість запропонованого методу підтверджується практичними результатами, одержаними в середовищі MATLAB. Результати одержано у вигляді гістограми та таблиці кодованих значень генотипу.

Висновки. Запропонована методологія структурного синтезу функціональних модулів пакувальних машин, що базується на застосуванні генетичного алгоритму, є ефективною особливо під час вирішення складних завдань параметричної оптимізації та структурного синтезу, де математичні моделі є складними і використання стандартних методів недоцільне. Практичні результати одержано на синтезі структури модуля формування упаковки із плоскоскладеної картонної заготовки.

Література.

1. Genetic Programming Theory and Practice III / Tina Yu. Et al. New York: Springer, 2006. 310 p. ISBN 978-0-387-28110-0.

2. Palchevskyi B., Varanitskyi T. Analisys of variability of the family of packages and the versatile packaging machine design. Applied Computer Science. 2012. Vol. 8 No. 1. p.22-32.

Прогнозування кінетики процесів тепло- та масообміну при нвч-обробці суміші коренів з пряних овочів

Олена Бабанова[1], Валерій Михайлов[2], Світлана Прасол[2], Андрій Шевченко[2]
[1]Національний університет харчових технологій, Київ, Україна
[2]Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

Вступ. Корені пряних овочів (петрушка, пастернак, селера, кріп) є цінною вітамінною та ароматичною сировиною, яка широко використовується в харчовій промисловості. Нами розроблено нові продукти (пасти, соуси, порошки) на основі суміші подрібнених коренів.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є попереднє визначення діелектричних і теплофізичних властивостей коренів з пряних овочів.

Результати і обговорення. Технологія виробництва суміші з коренів пряних овочів передбачає застосування тепло- та масообмінної обробки в НВЧ-полі за умов вакуумування. Цей метод дозволяє максимально зберегти корисні речовини та отримати продукцію з оригінальними органолептичними властивостями [1]. Для ефективного прогнозування кінетики цього процесу необхідне попереднє визначення діелектричних і теплофізичних властивостей досліджуваної сировини [2].

На першому етапі досліджувались діелектричні характеристики. Визначено, що зі збільшенням насипної щільності сировини лінійно збільшуються відносні значення діелектричних характеристик. В діапазоні насипної щільності від 300…600 кг/м^3 ε′ збільшується від 18 до 50, а ε″ – від 2 до 10. З підвищенням температури в діапазоні 20…80 °С ε′ монотонно знижується, зокрема при насипній щільності 500 кг/м^3 – з 40 до 28, а при 400 кг/м^3 – з 29 до 14. Помітних змін ε″ в температурному діапазоні 20…60 °С майже не спостерігається і досліджуваний показник знаходиться в межах 5,7…6,0 та 3,8…4,0 відповідно. При подальшому зростанні температури до 80 °С ε″ збільшується, відповідно, до 6,5 та 4,7, тобто на 11…21 %. Зниження вологовмісту з 85 до 10 % призводить до зменшення ε′ і ε″. Так, при насипній щільності 500 кг/м^3 ε′ зменшується з 39 до 8, а при насипній щільності 400 кг/м^3 – з 30 та 6. Тобто, протягом усього періоду зневоднювання показник ε′ відрізняється в 1,3 рази. Показник ε″ при насипній щільності 500 кг/м^3 зменшується з 6,3 до 1,5, а при насипній щільності 400 кг/м^3 – з 3,1 до 0,9. Таким чином, показник ε″ відрізняється в 1,6…2,0 рази за вищевказаних значень насипної щільності. Очевидно, вищевказані закономірності зміни ε′ та ε″ показників в залежності від вищевказаних чинників можуть бути пояснені змінами об'єму пустот, заповнених повітрям, що призводить до зміни наскрізної провідності.

На наступному етапі вивчалися теплофізичні властивості суміші. Встановлено, що зі зменшенням вологовмісту знижується насипна щільність. Коефіцієнт теплопровідності та питома теплоємність збільшуються з ростом температури, але зменшуються при зниженні вологості та насипної щільності.

З підвищенням температури від 20 до 80 °С коефіцієнт теплопровідності збільшується, зокрема при вологовмісті 85 % – в межах 0,63…0,71 Вт/(м·К), при вологовмісті 50 % – 0,37…0,42 Вт/(м·К), а при вологовмісті 10 % – 0,113…0,137 Вт/(м·К). Питома теплоємність також збільшується при зростанні температури і зменшується зі зниженням вологовмісту. Коефіцієнт температуропровідності при зниженні вологовмісту з 85 до 30 % несуттєво збільшується в межах $(30{,}2…31{,}6)\cdot 10^{-8}$ м^2/с, а при подальшому зниженні вологовмісту до 10 % зменшується в 1,1…1,2 рази до $(27{,}5\cdot 10^{-8})$ м^2/с. При різних значеннях проміжного вологовмісту помітних змін коефіцієнта температуропровідності зі зміною температури в межах 20…80 °С не спостерігається.

Висновки. Таким чином, отримані показники діелектричних та теплофізичних властивостей формують необхідний комплекс вихідних даних. Ці результати є основою для подальших досліджень, спрямованих на комплексне математичне моделювання, зокрема на точний розрахунок параметрів та детальне прогнозування кінетики складних взаємопов'язаних процесів тепло- і масообміну, що супроводжують обробку рослинної суміші в НВЧ-полі.

Література

1. Черевко, О. І. Переробка дикорослої та пряно-ароматичної рослинної сировини / О. І.Черевко, Ю. І. Єфремов, В. М. Михайлов. ХДУХТ, 2007. 229 с.

2. Михайлова С. В. Використання мікрохвильової вакуумної обробки в процесах виробництва овочевих концентратів / С. В. Михайлова // Дисертація. – Харків, 2014. – с. 320.

Валідація приладу для тестування розчинення таблеток відповідно до розділу Європейської Фармакопеї 2.9.3

Анна Буднік, Ігор Житнецький
Національний університет харчових технологій

Вступ. Валідація обладнання є обов'язковим етапом забезпечення якості у фармацевтичній промисловості. Прилади для тестування розчинення твердих лікарських форм використовуються для оцінки швидкості та ступеня вивільнення діючих речовин, що безпосередньо впливає на біодоступність препаратів. Відповідно до вимог Європейської Фармакопеї (розділ 2.9.3), такі прилади повинні проходити кваліфікацію функціонування (OQ) з метою підтвердження їх відповідності встановленим технічним характеристикам та критеріям прийнятності.

Матеріали та методи. Валідація проводиться відповідно до встановленого алгоритму кваліфікації функціонування, який передбачає виконання комплексу тестів для перевірки основних параметрів роботи обладнання. Для проведення валідації використовуються калібровані вимірювальні прилади, зокрема: цифровий лазерний тахометр, цифровий термометр, цифровий гоніометр, датчик биття, тестер осьового положення, штангенциркуль, допоміжні елементи для контролю глибини занурення.

Методика передбачає поетапну перевірку функціонування приладу, включаючи: перевірку загальної працездатності та відповідності документації, контроль роботи механічних вузлів, визначення геометричних параметрів (центрування, глибина занурення), перевірку швидкості обертання мішалок, оцінку швидкості потоку рідини у водяній бані, контроль температурних режимів. Кожен тест має встановлені критерії прийнятності, що відповідають фармакопейним вимогам.

Результати та обговорення. У ході валідації проведено кваліфікацію функціонування обладнання за встановленим алгоритмом. Перевірка показала, що основні параметри роботи приладу відповідають нормативним вимогам. Зокрема, встановлено: коректну роботу підйомного механізму та системи керування, відповідність глибини занурення мішалок у межах допустимого діапазону, стабільність швидкості обертання мішалок із відхиленням не більше встановлених допусків, допустимі значення центричності валів та відсутність критичних коливань, відповідність швидкості потоку рідини у водяній бані нормативним межам, підтримання температури середовища на рівні визначеному фармакопейними вимогами.

Аналіз ризиків показав, що найбільш критичними параметрами є швидкість обертання, температура та швидкість потоку у водяній бані, оскільки їх відхилення можуть призвести до отримання недостовірних результатів тестування розчинення.

У випадку виявлення невідповідностей критичних параметрів подальше використання обладнання є недопустимим до усунення відхилень та повторної кваліфікації.

Висновки. Валідація приладів для тестування розчинення є обов'язковою умовою забезпечення достовірності результатів контролю якості лікарських засобів. Проведена кваліфікація функціонування (OQ) підтвердила повну відповідність обладнання вимогам Європейської Фармакопеї. Без проходження валідації обладнання не може бути допущене до експлуатації у процесах контролю якості продукції. Регулярне проведення перекваліфікації є важливим елементом системи забезпечення якості на підприємстві.

Машина для двостадійного змішування таблетсуміші

Назарій Магеровський, Юрій Доломакін
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Одним із ключових етапів виготовлення таблетованих лікарських форм є процес змішування порошкових компонентів, від якого залежить рівномірність розподілу активних речовин та допоміжних складників у таблетсуміші. Недостатня якість змішування може призвести до нерівномірності дозування, зниження терапевтичної ефективності та погіршення споживчих властивостей готового препарату.

Мета роботи. Розроблення конструкції машини для двостадійного змішування таблетсуміші із засипом 0,3 м³, яка забезпечить підвищення технологічної ефективності процесу та відповідність сучасним вимогам фармацевтичного виробництва. Актуальність дослідження зумовлена потребою у створенні високоефективного обладнання для фармацевтичної галузі, що забезпечить стабільну якість таблетованих лікарських форм та підвищить конкурентоспроможність вітчизняних виробників.

Матеріали та методи. Двостадійне змішування є перспективним напрямом удосконалення технології, оскільки дозволяє поєднати інтенсивне первинне перемішування з подальшим вирівнюванням структури суміші. Такий підхід забезпечує високу однорідність, зменшує ризик утворення агломератів та сприяє стабільності фізико-хімічних властивостей готового продукту.

Результати. Двостадійний змішувач призначений для послідовного та якісного виконання двох ключових технологічних операцій: сухого змішування та змішування зі зволоженням/гранулюванням. Конструкція інтегрує в одному герметичному апараті два типи робочих органів, що забезпечує замкнений цикл без перевантаження матеріалу.

Розроблено конструктивну компоновку, яка реалізує двостадійний процес у одній машині для стадії інтенсивного сухого змішування та вивантаження готового продукту. Така конструкція дозволяє виключити проміжне перевантаження матеріалу, підвищити гігієнічність та зменшити виробничі витрати.

Була розроблена та всебічно обґрунтована конструкція машини для двостадійного змішування таблетсуміші, яка відповідає сучасним вимогам фармацевтичного виробництва щодо якості продукту, ефективності, гігієнічності та автоматизації технологічного процесу. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані для подальшого детального конструювання, виготовлення дослідного зразка та його впровадження на виробничих підприємствах.

Висновки. Встановлено, що для досягнення високого ступеня однорідності таблетсуміші, що містить компоненти з різною щільністю, розміром частинок та потребою в зволоженні, найбільш ефективним є принцип двостадійного змішування. Він поєднує попереднє сухе змішування для рівномірного розподілу основної маси компонентів і подальше інтенсивне механічне змішування із зволоженням для формування гранул.

Література

Доломакін Ю.Ю. Імітаційне моделювання руху сипкого матеріалу в обертових барабанних апаратах / Ю.Ю. Доломакін, С.Д. Беседа, О.І. Бабанова // Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. – 2024. – Вип. 2 (43). – С. 182–189.

Доломакін Ю.Ю. Дослідження гідродинаміки реакційної маси у реакторі-змішувачі / Ю.Ю. Доломакін, С.Д. Беседа, О.І. Бабанова, П.В. Породько // Наукові праці НУХТ. – 2024. – Т. 30, № 3. – С. 99–111

Вплив конструктивних параметрів лопатей на ефективність змішування сипких компонентів в гравітаційних змішувачах

Євген Квик, Олена Подобій, Ігор Житнецький
Національний університет харчових технологій

Вступ. Змішування сипких компонентів є критично важливим процесом у харчовій, фармацевтичній, хімічній та будівельній галузях. Ефективність цього процесу залежить від комплексу конструктивних, режимних та фізико-механічних факторів, зокрема: швидкості обертання, ступеня заповнення робочої камери, форми перемішувальних елементів та різниці у властивостях вихідної сировини. Досягнення високого ступеня гомогенності суміші безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту.

Матеріали та методи. Дослідження проводились з використанням гравітаційного змішувача БС-165, об'ємом чаші 165 літрів. Основний напрям досліджень спрямований на зміну конструктивних параметрів, а саме конфігурацію лопатей, швидкість обертання та кут нахилу не змінювались та відповідали технічним характеристикам гравітаційного змішувача БС-165. Для дослідження ефективності зміщування використовували сипкі матеріали оксид алюмінію з розміром частинок 30 мкм та крохмаль з розміром частинок 20 мкм. Ефективність процесу оцінювали за коефіцієнтом неоднорідності (Kn). Для цього проводили відбір проб у 3–5 точках змішувача з подальшим лабораторним аналізом концентрації цільового компонента. Розрахунок проводили за типовими методиками з визначенням коефіцієнта варіації. Енергетичні витрати процесу фіксували за допомогою тензометричного та енергетичного методів вимірювання.

Результати та обговорення. В результаті проведених досліджень було визначено, що зміна конфігурації лопатей з ковшовоподібних на прямокутні з нахилом 45° зменшила витрати енергії з 0,75 кВт до 0,67 кВт. Тривалість змішування залишалась незмінною та становила 20 хв.

При визначенні коефіцієнта нерівномірності були отримані результати з використанням ковшовоподібних лопатей становив K_v = 8% з використанням конфігурації прямих K_v = 6%. Слід зазначити, що оксид алюмінію та крохмаль мають різну насипну щільність та розмір часток, що сприяє сегрегації (розшаруванню). Тому досягнення K_v = 6% для цієї пари компонентів вважається дуже хорошим результатом. Також суміші оксиду алюмінію та крохмалу часто використовуються при виробництві фармацевтичних препаратів тому вимоги до гомогенності зазвичай досить суворі

Висновок. Результати дослідження підтвердили, що на ефективність змішування впливає зміна конфігурації лопатей в ємності гравітаційного змішувача та дозволяє заощаджувати енергозатрати. Досягнуті показники неоднорідності відповідають вимогам до високотехнологічних виробництв.

Література

Zuo, Z., Wang, J., & Dai, C. (2023). Effect of blade configuration on the mixing process of particles in an intensive mixer. *Particulate Science and Technology*, 41(8), 1–15. doi.org.

Модернізація фільтраційної установки для виділення дріжджової маси з пива для освітлення забродженого пива

Назарій Кірович, Сергій Удодов
Національний університет харчових технологій , Київ, Україна

Вступ. Важливим та одночасно актуальним в технології пивоваріння є технологічна стадія фільтрації забродженого пива. від якості проведення якої залежить в подальшому визнання та популярність відфільтрованого напою.

Об'єкт і методи дослідження. Фільтраційна установка Fil-Max фірми «FILTECH» (Корея), робота якої заснована на використанні мембранної технології. Дана установка призначена для виділення пива з надлишкової дріжджової маси, що утворюється в процесі ферментації пива.

З метою визначення основних властивостей металевих мембран, що пропонуються для використання в установці, а також визначення раціональних параметрів процесу фільтрації пива було проведено ряд експериментів з металевими мембранами на дослідній фільтраційній установці НУХТ непроточного типу (рис.1).

Результати і обговорення. Фільтраційний модуль /рис.2/ експериментальної установки включає циліндр 6, виготовлений із органічного скла. В нижній частині якого за допомоги гумового кільця 4, закріплюється мембрана 3, яка підлягає дослідженню.

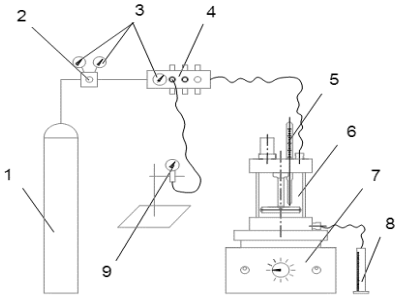


Рис.1 Схема дослідної фільтраційної установки непроточного типу

Експериментальні дослідження проводились при температурі продукту t = 5 °С та різних значеннях тиску у фільтраційному модулі - від 0,02 до 0,06 МПа для мембрани типу ФНС-5. Визначено, що найбільш доцільним та ефективнішим режимом при проведенні дослідження по фільтрації нефільтрованого пива за допомоги мембрани ФНС-5 є режим роботи фільтраційної установки при тиску P = 0,04 МПа та часу фільтрації 750 с. Селективність мембрани при цьому становить 80 %.

Аналіз результатів отриманих досліджень засвідчив, що при різних значеннях тиску, що штучно створюється при фільтрації нефільтрованого забродженого пива, спостерігається зниження проникності мембрани з часом. З метою усунення даного недоліку в роботі фільтраційної установки та уникнення даного утворення, модернізацією обладнання запропоновано в середину фільтраційної установки додатково встановити генератори вихорів нової конфігурації для забезпечення режиму перемішування. При цьому рідину (нефільтроване пиво) необхідно та бажано подавати на мембрану таким чином, щоб вона обтікала поверхню мембрани, а генератори вихорів при їх обертанні не сприяли та не надавали можливості концентрату накопичуватися на поверхні мембрани.

Висновки. Модернізацію фільтраційної установки з метою підвищення якості фільтрації забродженого пива пропонується виконати за рахунок заміни існуючих керамічних фільтраційних мембран на металеві мембрани типу ФНС-5, встановлення генераторів вихорів нової конструкції, а також змінити напрямок виведення перміату і концентрату навпаки.

Розроблення процесу виготовлення «порціонер крила» з використанням комп'ютерних технологій та підбором оптимальних режимів фрезерування

Богдан Куцолапський, Юрій Бойко, Олена Бабанова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Фрезерування, як один із методів механічної обробки, відіграє велику роль у сучасному виробництві деталей. Цей процес дозволяє створювати компоненти з широкого спектру матеріалів, від легких сплавів до високоміцних сталей, з високою точністю та складністю. З розвитком технологій, фрезерування зазнало значних змін. Впровадження числових програмних керувань (ЧПК) дозволило автоматизувати процес обробки, підвищити точність та скоротити час виготовлення деталей. Сучасні фрезерні верстати з ЧПК здатні виконувати складні операції з високою швидкістю та точністю, що робить їх незамінними в такій галузі, як машинобудування. Ефективне використання фрезерування вимагає не лише сучасного обладнання, але й розуміння технологічних процесів. Вибір правильного ріжучого інструменту, режимів різання, а також використання ефективних стратегій обробки.

Матеріали і методи. Об'єкт дослідження – пристрій для закріплення і вивірка заготовки відносно інструмента – фрези. Мета даної роботи присвячена дослідженню та розробці пристрою, який має на меті вдосконалення технологічного процесу фрезерування та полегшення даного виробничої операції.

Об'єкт дослідження – інструмент для високошвидкісного фрезерування деталі «порціонер крила». Метою даної статті є розробка технологічного маршруту виготовлення виробу з використанням CAD/ CAM у середовищі Autodesk ArtCAM, оцінювання та підбір оптимальних режимів різання.

Результати і обговорення. Основною ціллю роботи було виготовлення деталі "Порціонер крила" із заготовки у формі квадрата. Матеріал заготовки поліамід, розміром 510х510мм. Умови різання: Виборка в деталі 510 х510 мм. на глибину 17мм; швидкість руху фрези (подача) 100 мм/хв; обертання шпинделя верстата 16000 об/хв.

Візуалізація процесу оброблення деталі в середовищі ArtCAM. Після того як було задано всі параметри, що необхідні для процесу обробки, програма розпочала розрахунок траєкторії інструменту. По закінченню розрахунку був проведений аналіз траєкторії руху інструменту, а також створена 3d симуція вигляду деталі по закінченню всіх операцій (рис. 1).

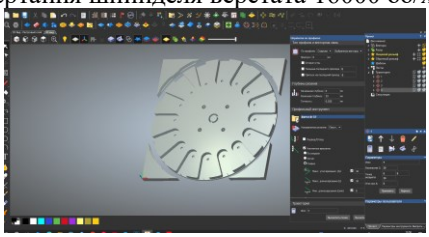


Рис. 1. Вигляд деталі в програмі ArtCAM після проведення всіх операцій

Висновки. Розглянуто програмне забезпечення в системі ArtCAM і його переваги, зокрема забезпечення більш повної візуалізації техпроцесу її функціональні можливості. Визначено оптимальні режими різання при виборці та фрезерування пазів в деталі "Порціонер крила".

Література

1. Autodesk Inventor – https://www.autodesk.com/products/inventor-cam/overview.
2. ArtCAM – https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/ArtCAM-Software-Artists-Rather-Engineers-2015.

Дослідження вузла видуву у обладнанні для формування пет-пляшок

Михайло , Світлана Прасол[2]
Національний університет харчових технологій

Вступ. Мета дослідження – встановлення закономірностей впливу параметрів мехатронної системи приводу на динаміку тиску при формуванні ПЕТ-тари для забезпечення стабільності технологічного циклу та підвищення енергоефективності пневматичних вузлів видуву в умовах високошвидкісного виробництва.

Матеріали та методи. Дослідження динамічних процесів проведено для мехатронної системи, що включає запірно-регулювальну арматуру високого тиску (до 4,0 МПа) та систему керування на базі ПЛК. Математичне моделювання перехідних процесів подачі та стабілізації тиску виконано з використанням ітераційних розрахунків у середовищі Excel, що дозволило отримати часові залежності параметрів для різних режимів роботи.

Результати дослідження. Експериментально та теоретично обґрунтовано використання двоступеневого профілю тиску (рис.1), що розділяє фази передвидуву P_1 та основного видуву P_2.

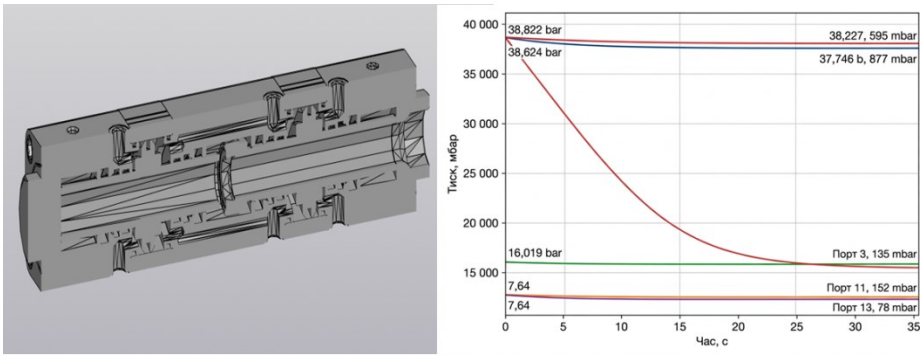


Рис.1. Клапан високого тиску системи ПЕТ-видуву та часові характеристики тиску в портах керування: а – переріз робочої зони клапана; б) характеристики роботи вихідних каналів - порт 1 (глибокий синій), порт 2 (червоний), порт 3 (зелений), порт 11 (помаранчевий), порт 13 (фіолетовий)

Встановлено, що конструктивні параметри підвідних магістралей суттєво впливають на швидкодію системи: збільшення діаметра трубопроводу з 10 до 14 мм дозволяє скоротити час заповнення форми з 0,30 с до 0,25 с. Однак це призводить до зростання пікових навантажень, що потребує інтеграції проміжного демпфуючого ресивера. Виявлено, що оптимальний об’єм ресивера для стабілізації тиску P_2 становить 5–10 л, що забезпечує рівномірність деформації заготовки без перевитрат стисненого повітря. Розраховано зусилля замикання прес-форми (720 кН для 6-гніздової форми), що є критичним для запобігання утворенню облою при піковому тиску 4,0 МПа. Порівняння модельних даних із технічними характеристиками сучасних видувних агрегатів (Sidel, SIPA) підтвердило адекватність обраної математичної моделі з похибкою не більше 5%.

Висновки. Врахування динамічних характеристик пневматичних елементів та використання проміжних ресиверів об’ємом до 10 л є обов'язковою умовою для стабілізації процесу видуву. Впровадження керованого мехатронного приводу дозволяє оптимізувати енергоспоживання системи та підвищити точність відтворення геометричних параметрів ПЕТ-пляшок.

Розроблення процесу виготовлення деталі «пластина-шаблон» з використанням електроерозійного дротово-вирізного верстата DK7725

Богдан Куцолапський, Юрій Бойко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Електроерозійне дротове вирізання (EDM Wire Cut) є одним із найточніших методів обробки струмопровідних матеріалів. На відміну від традиційного фрезерування, де відбувається механічне різання, при EDM-обробці матеріал видаляється за рахунок електричних розрядів між дротом-електродом та заготовкою. Застосування дротової електроерозії дозволяє отримувати складні контури з високою точністю, мінімальними силами різання та без деформації тонких елементів. Це особливо важливо для виготовлення шаблонів, штампів, матриць, калібрів та деталей приладобудування.

Матеріали і методи. Об'єкт дослідження – верстат DK7725 електроерозійно дротовий-вирізний. Метою даної роботи є розроблення технологічного процесу виготовлення деталі на верстаті DK7725 та демонстрація покрокового виконання операції дротового вирізання.

Об'єкт дослідження – визначення режимів різання при отриманні якісних показників поверхні деталі «Пластина-шаблон». Метою даної роботи є розробка технологічного маршруту виготовлення виробу з використанням CAD/ CAM у середовищі Autodesk ArtCAM, оцінювання та підбір оптимальних режимів різання.

Результати і обговорення. Основною ціллю роботи було виготовлення деталі **«Пластина-шаблон»** із заготовки у формі квадрата. Матеріал заготовки сталь 45 HRC 48…52, розміром 120x80мм з товщиною 10мм. Параметри різання: напруга імпульсу 70–90 В; струм різання 2–4 А; подача (F) 20–60 мм/хв.; промивка середня/висока; діаметр дроту 0,18мм.

Для виготовлення деталі використовується електроерозійний дротово-вирізний верстат DK7725. Верстати даної серії є поширеними у виробництві завдяки простій конструкції та можливості обробки сталей, твердих сплавів та інших струмопровідних матеріалів. Перед початком різання оператор перевіряє рівень робочої рідини, стан фільтра, натяг дроту та справність напрямних роликів. Заготовка встановлюється на стіл та фіксується притисками. Далі виконується прив'язка нульової точки: дріт підводиться до кута заготовки і координати X=0, Y=0 встановлюються у системі керування. Візуалізація процесу оброблення деталі в середовищі AutoCAD.

Після того як було задано всі параметри, що необхідні для процесу обробки, програма розпочала розрахунок траєкторії інструменту. По закінченню розрахунку був проведений аналіз траєкторії руху інструменту, а також створена 3d симуція вигляду деталі по закінченню всіх операцій (рис. 1).

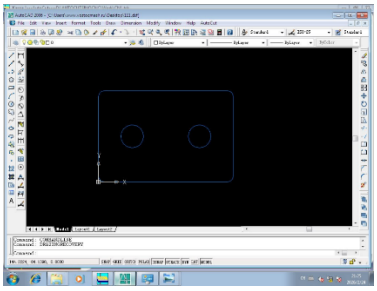


Рис. 1. Вигляд деталі в програмі ArtCAM після проведення всіх операцій

Висновки. У результаті отримано деталь, що відповідає заданій геометрії. Найкращий результат було отримано при середній подачі та стабільній промивці зони різання.

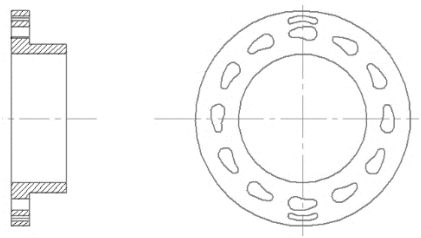
Модернізація центрифуги типу огш для відділення жиру від шквари

Сергій Навроцький, Сергій Беседа, Олена Бабанова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Центрифуги типу ОГШ, призначені для безперервного поділу рідких неоднорідних суспензій, що містять тверду фазу, щільність якої вище за щільність рідкої фази. Завдяки високій продуктивності, простоті конструкції, безперервності технологічного процесу, мінімальному обслуговуванню ці центрифуги застосовуються в різних технологічних процесах м'ясо-молочної, рибопереробної, фармацевтичної хімічної, нафтопереробної та інших галузях промисловості.

Методи досліджень. Об'єктом дослідження є модернізація центрифуги типу ОГШ для відділення жиру від шквари, а саме модернізація вузла вивантаження шквари.

Результати і обговорення. Центрифуга типу ОГШ призначена для перероблення жиросировини, а пряме призначення – це розділення топленого жиру на дві фракції: рідкий жир та шквара. Важливо на даному етапі технологічного процесу забезпечити якісне відділення жиру від шквари для отримання більшої кількості якісного рідкого компоненту. Як нам відомо розділення суспензії на фракції відбувається за рахунок відцентрових сил. Але проаналізувавши на виході отриману шквару ми впевнились що певний відсоток жиру залишається невідділеним. Судячи з цього ми запропонували модернізувати один з вузлів центрифуги, а саме вузол вивантаження шквари. Нами була запропонована додаткова деталь рис. 1, яка б забезпечувала достатнє розділення жиру від шквари.



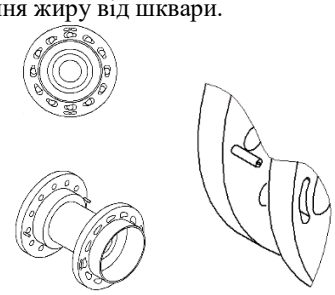


Рис. 1 Запропонована деталь	*Рис. 2 Розміщення деталі на осі ротора*

Робота цієї деталі полягає у наступному: деталь розміщується на осі ротора біля вікон вивантаження шквари рис. 2. Запропонована нами деталь має отвори змінного перерізу, ці отвори співпадають з вивантажувальними отворами. При повертанні даної деталі на певний кут відбувається часткове перекриття основних отворів, отворами змінного перерізу. Цей ефект дає нам зменшення виходу шквари і створює додатковий віджимний ефект для шквари, що забезпечує більш ретельніше відділення жиру. Інша перевага цієї деталі – це те що можливо підлаштовувати центрифугу під жиро сировину з різним вмістом твердої фази.

Висновок. Кріплення деталі відбувається за рахунок штифтів, розташованих на осі ротора. При встановленні деталі на вісь штифти входять в спеціальні пази. В цих штифтах є отвори з різьбою під гвинт. При послабленні гвинтів відбувається зміна перерізу отворів за рахунок повертання деталі на певний кут. Таким чином, у результаті модернізації центрифуги було запропоновано оригінальні конструктивні рішення. Отже дана деталь є конструктивно і економічно вигідною. Оскільки за допомогою неї ми можемо додатково більш повно виділити жир з шквари.

Модернізація шлямовочної машини для свинячих кишок

Андрій Чайковський[1], Олена Бабанова[1], Андрій Шевченко[2]
[1]*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*
[2]*Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна*

Вступ. Шлямовочна машина для очищення свинячої кишки в основному використовується для оброблення оболонки свинячих кишок. Машина для очищення свинячих кишок може гарантувати, що жирова плівка свинячих кишок не буде пошкоджена (жирова плівка є важливою частиною оболонки, на яку звертає увагу покупець оболонки під час прийняття оболонки).

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є модернізація шлямовочної машини для свинячих кішок.

Результати і обговорення. Шлямовочні машини, які реалізують лише окремі операції оброблення, на практиці нерідко розміщують не відповідно до послідовності технологічного процесу, що призводить до формування зустрічних потоків. Крім того, передавання кишок між окремими машинами часто здійснюється вручну, що додатково знижує загальну продуктивність і ускладнює організацію робіт. У зв'язку з цим на підприємствах доцільним є впровадження поточно-механізованих ліній оброблення кишок, які складаються з комплексу машин, взаємопов'язаних транспортними пристроями та механізмами і об'єднаних у безперервний технологічний потік.

Шлямовочна машина призначена для руйнування та відокремлення оболонок. Для шлямовочної машини для свинячих кішок характерні висока продуктивність, простота технічного обслуговування та можливість інтеграції у поточно-механізовані лінії. Її застосовують під час виготовлення ковбасних виробів із баранячих черев, а також у виробництві кетгуту (хірургічних ниток) і музичних струн. Після звільнення кишок від вмісту їх витримують упродовж 1–2 год у ванні з водою температурою 40…45 °С. Очищення від серозної, м'язової та слизової оболонок виконують у шлямовочній машині, після чого кишки повторно замочують у воді температурою 40…45 °С. Далі черева віджимають на інших віджимних вальцях і подають на остаточне очищення у шлямовочну машину. Оброблену кишкову сировину охолоджують, сортують, калібрують і консервують. Стінки кишок характеризуються щільністю та еластичністю і складаються із серозної, м'язової, підслизової та слизової оболонок. Серозна оболонка є гладкою, пружною та міцною; під час оброблення ободових і сліпих яловичих кишок її видаляють. М'язова оболонка є найбільш розвиненою та забезпечує міцність кишкової оболонки; її знімають зі свинячих і баранячих кишок. Підслизова оболонка є найміцнішою; під час оброблення тонких баранячих і свинячих кишок залишають переважно саме її. Слизова оболонка містить значну кількість ферментів і мікрофлори, має пухку структуру та невисоку міцність, тому в процесі оброблення кишкової сировини її видаляють.

Виготовлення оболонок для багатьох видів ковбас здійснюють із використанням шлямовочної машини. Водночас прогумовані вальці характеризуються обмеженою довговічністю через інтенсивне зношування робочої поверхні.

З огляду на це запропоновано модернізувати конструкцію з метою підвищення зносостійкості робочих поверхонь валків. За результатами порівняльного аналізу декількох машин прийнято рішення змінити покриття гумового та пластинчастого валків: на гумовий валик нанесено додатковий шар гуми з відмінними експлуатаційними характеристиками, а у пластинчастому валику збільшено кількість пластин і скориговано кут їх нахилу. Модернізація системи подачі води на вальці забезпечить рівномірне та ефективне зрошування кишок, сприятиме зниженню водоспоживання, а також підвищить якість готової продукції на виході.

Висновки. Таким чином, у результаті модернізації машини було запропоновано оригінальні конструктивні рішення. Машина відрізняється від наявних аналогів застосуванням валків, які характеризуються підвищеною надійністю, конструктивною простотою та зручністю технічного обслуговування, а також забезпечують можливість точного регулювання зазору між валками.

Література

1. Технологія м'яса та м'ясних продуктів : підручник / М. М. Клименко, Л. Г. Віннікова, І. Г. Береза, Г. І. Гончаров ; за ред. М. М. Клименка. – Київ : Вища освіта, 2006. – 640 с.

2. Інноваційне обладнання м'ясопереробних виробництв [Текст] : Підручник / О.М. Чепелюк, О.М. Гавва, І.Г. Бабанов, О.О. Чепелюк, С.Д. Беседа, О.І. Бабанова, В.М. Мучійчук - К.: Видавництво «Сталь», 2021. – 805 с.

Machines and apparatus of biotechnological and pharmaceutical production

Машини і апарати біотехнологічних та фармацевтичних виробництв

Systematisation of the design features of equipment for the filling of injection preparations into ampoules

Serhii Samarchuk, Igor Zhitnetskyi, Oleksandr Zomenko
National University of Food Technologies

Introduction. An analysis of scientific and educational literature shows that there is a significant lack of systematic data on the design features, technological schemes, and classification of machines for filling sterile preparations into ampoules. A comprehensive approach to analysing equipment designs from a mechanical engineering perspective is absent.

Materials and Methods. The aim of the research is to analyse current scientific literature, systematise and generalise the design features of equipment, and summarise production experience. Methods used include comparative analysis, structural-functional decomposition of technological modules, and classification grouping.

Results and Discussion. All equipment is classified according to the following characteristics: productivity (from 2,000 to 24,000 ampoules per hour), level of automation (semi-automatic, automatic, fully automated lines), structural design (rotary, conveyor, combined). A typical design consists of main functional modules: transportation, ampoule orientation, dosing, sealing, quality control, and packaging. The key component is the dosing system, usually implemented using peristaltic, piston, or ceramic pumps with an accuracy of ±1–2%. Features of the main units are analysed: ampoule feeding mechanisms (star conveyors, vacuum grippers), dosing devices (volumetric and mass), and sealing systems (gas-oxygen burners, induction heating, laser technology). A trend towards the implementation of machine vision systems has been identified.

Conclusion. The systematisation of design solutions for ampoule equipment forms a comprehensive understanding of the technological capabilities of modern machines and determines the main directions for their improvement. Keywords: ampoule equipment, injectable preparations, dosing, functional structure, GMP standards.

References

1. Syntegon (formerly Bosch Packaging). Ampoule Filling Machines - ALF 4000 and ALF 5000 Series [Electronic resource]. – 2025.
2. Vial Filling Machines and Liquid Filling Solutions - FLC 3000 [Electronic resource]. – 2025.
3. Cozzoli Machine Company. FPS Ampoule Filling and Sealing Machines Technical Specifications [Electronic resource]. – 2025.
4. Marchesini Group. Ampoules Filling & Sealing Machines [Electronic resource]. – Production capacity 6,000-24,000 pieces per hour. – 2025.
5. Lodha Pharma. Automatic Ampoule Filling and Sealing Machine - Servo-based System [Electronic resource]. – 2026.
6. Теличкун В.І., Теличкун Ю.С., Губеня О.О., Стефанов С.В., Дамянова С.Т. (2023), Технологічне обладнання харчових виробництв: Навчальний посібник, Видавництво «Сталь», Київ
7. Теличкун В.І., Гавва О.М., Теличкун О.М., Губеня О.М., Десик М.Г., Чепелюк О.М. (2017), Технологічні комплекси харчових виробництв: Навчальний посібник, Видавництво «Сталь», Київ

Analysis of the structural features of liquid medicinal form dosing modules

Serhii Samarchuk, Igor Zhitnetskyi, Oleksandr Zomenko
National University of Food Technologies

Introduction. The practical work experience gained at JSC 'Farmak' and the analysis of technical literature indicate that the design of the dosing modules is not perfect and requires constant adaptation for different production conditions and various types of products. Materials and Methods. The aim is to analyse the design, patents, scientific literature, and articles, as well as to survey industry experts, for further development and modelling of the dosing module design.

Results and Discussion. Modern machines utilise seven main types of dosing modules. Piston pumps (Piston Pumps / Rotary Valve Piston Pumps). Operating principle: volumetric dosing through reciprocating piston movement. Advantages include high dosing accuracy; this type is suitable for a wide range of viscosities (from aqueous solutions to thick oils), simple design, and the possibility of CIP/SIP sterilisation. Peristaltic pumps (Peristaltic Pumps). Operating principle: a roller rotor compresses a tube, moving the product. Benefits: minimal contamination – the product only contacts a disposable tube, but disadvantages include periodic tube replacement and viscosity limitations. Servo-controlled systems (Servo-Based Filling Systems). Operating principle: servo motors control pistons or pumps. Advantages: maximum accuracy and repeatability, automatic volume correction. Vacuum and time-pressure systems (Vacuum / Time-Pressure Filling). Operating principle: filling under controlled pressure or vacuum. Benefits: simple construction, low cost, suitable for large volumes. Drawbacks: lower accuracy compared to piston/peristaltic systems, dependence on viscosity and temperature. Mass-flow systems (Mass-Flow Filling). Operating principle: measuring the product's mass during filling via mass flow sensors. Advantages: accuracy for products with variable density, independent of viscosity and temperature. Rolling diaphragm pumps (Rolling Diaphragm Pumps). Operating principle: a soft diaphragm rolls under the action of a ball element. Benefits: suitable for delicate biopharmaceuticals, minimal mechanical stress. Integrated weighing systems (Check-Weighing Systems). Operating principle: weighing each ampoule before and after filling, with automatic volume correction via feedback. Advantages: highest accuracy through direct mass control, automatic deviation compensation, 100% inspection of each ampoule, compliance with FDA/GMP requirements.

Conclusion. When designing and selecting dosing modules, principles of 'hygienic design' are followed, along with the selection of materials depending on the chemical properties of the product, principles of sealing to prevent contamination, CIP/SIP compatibility, and ensuring accuracy and repeatability.

References

1. Гладух Є.В., Рубан О.А., Сайко І.В. [та ін.]. Промислова технологія лікарських засобів: базовий підручник для студ. вищ. навч. фармац. закладу. – Х.: НФаУ: Новий Світ-2000, 2018. – 486 с.
2. What Is an Ampoule Filling and Sealing Machine? The Complete Guide // Finetech Pharma Machinery. – 2025. – September.

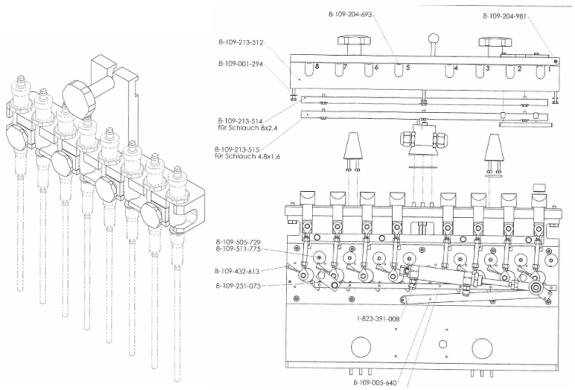
Structural diagram of the piston-type dosing unit of liquid dosage forms

Serhiy Samarchuk, Ihor Zhitnetskyi, Oleksandr Zyomenko
National University of Food Technologies

Introduction. Despite the critical importance of the accuracy of dosing liquid dosage forms into ampoules (±0.5-1%) in accordance with GMP requirements, the design features of piston dosing systems of ampoule machines remain insufficiently covered in the technical literature, which makes it difficult to optimally adjust, maintain and modernize them at pharmaceutical enterprises (.

Materials and methods. Analysis of modern scientific and educational literature and generalization of personal production experience.

Results and discussion. The components of the dosage module of liquid dosage forms are: Expansion tank, liquid accumulator, collector, chokes, TPFE tube system, dosing needle, dosing unit fig. 1.



a **b**

Fig. 1. Structural diagram of the piston-type dosing unit (*b),* and the block with filling needles*(a)*

The principle of operation of piston-type modules is based on volumetric dosing with the help of reciprocating movement of the piston, a servo drive is additionally installed to accurately control the movement of the piston. Dosing range: 0.5 ml to 30 ml. Speed: 10-250 ampoules/minute. The advantages are high dosing accuracy, simplicity of design and maintenance, possibility of CIP/SIP sterilization.

Conclusion. Such a layout scheme in cases of handling viscous preparations may give a dosing error of more than 5%, which is unacceptable within the framework of parenteral preparation production. The design needs additional analysis and improvement. It is necessary to create a simulation model to simulate the dosing process.

References

1. Gladukh E.V, Ruban O.A, Saiko I.V. [etc]. Industrial technology of medicinal products: basic textbook for students. higher education pharmacy institution**.** – Kharkiv: NFAU: Novy Svit-2000, 2018. – 486 p.
2. What Is an Ampoule Filling and Sealing Machine? The Complete Guide // Finetech Pharma Machinery. – 2025. – September.

Effect of tablet density and punch moving low on tablet quality indicators

Oleksandr Zomenko, Sergii Samarchuk, Igor Zhytnetskyi, Oleksii Gubenia
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The aim of research is to determine the effect of tablet density and punch movement kinematics on tablet quality indicators – the strength, friability and density distribution.

Materials and methods. Tablet strength was determined by the destructive stress during diametric compression, friability – by the mass loss during processing in a rotating drum. The volumetric density distribution at different punch kinematics was determined using MSE method using the COMSOL Multiphysics software.

Results and discussion. At a density less than 0.7 g/cm^3 the tablet has low strength and is unsuitable for subsequent technological operations. Three zones of strength change are distinguished: (I) – tablet strength increases proportionally to its density; (II) – with increasing of tablet density its strength increases faster, the type of dependence is parabolic. The conditional transition from zone I to zone II occurs at a tablet density of 1 g/cm^3; (III) – the intensity of increase in strength slows down, and after reaching a certain tablet density, the strength decreases. The maximum strength of the studied tablets was 4.6 MPa, and the recommended working strength is 1.5–3 MPa. At a density value of more than 2 g/cm^3 such a type of defect as lamination is observed.

With increasing density, the tablet friability decreases according to a parabolic dependence, and at 0.8–1.0 g/cm^3 it becomes less than 1%, which corresponds to the pharmacopoeia values. With increasing density over 1.3–1.7 g/cm^3, the tablet friability begins to increase according to a parabolic dependence and becomes greater than the regulated limits.

During one-sided compression, the stress and density at the opposite edges of the tablet in the zone of contact with the die surface are greater and smaller compared to the core. The density in the tablet core does not exceed the average by more than 7%. Such density heterogeneity has a negligible effect on the strength and friability indicators. During two-sided compression, the zones with higher density appear at the edges of tablet. The density in the tablet core does not exceed the average density by more than 5%. These results do not confirm the hypothesis that the punch cinematics significantly affects the distribution of tablet density.

Conclusions. The density of the tablet significantly affects on its strength and friability. The punch kinematics have a negligible effect on the distribution of density over the volume of tablet.

References

Gubenia O,, Zomenko O., Samarchuk S., Mnerie D. (2025), On the strength and friability of series products manufactured by direct compression of non-metallic granules, *Nonconventional Technologies Review/Revista de Tehnologii Neconventionale*, 29(3), pp. 15-21

Effect of compressing method and punch kinematics on tablet strength, friability and relative density distribution

Oleksandr Zomenko, Sergii Samarchuk, Igor Zhytnetskyi, Oleksii Gubenia
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The study aimed to determine how tablet density affects tensile strength and friability, taking into account the compression mode and punch kinematics. Two formulations of tablets were studied.

Material and methods. The strength and friability were determined by pharmacopoeial methods. The density distribution inside the tablet was analyzed by finite element simulation in COMSOL Multiphysics using a density-dependent Capped Drucker-Prager model. The initial true density of the powder was 1.59 g/cm^3, bulk density 0.36 g/cm^3, die radius 5 mm, and initial powder-bed height 12 mm. Four loading cases were considered: one-sided compaction; two-sided compaction with equal punch displacements; two-sided compaction with unequal displacements; and two-sided compaction with unequal displacements and a sinusoidal law of motion.

Results and discussion. The results showed a complex relationship between tablet density and quality indicators. Three regions were identified for tensile strength: an approximately proportional increase at low density, a more intensive parabolic growth at intermediate density, and a deceleration followed by strength loss at excessive density, accompanied by lamination. Friability decreased with increasing density at first, reached acceptable pharmacopoeial values below 1% in the range of about 1.0–1.1 g/cm^3, and then increased again at higher density. Numerical simulation demonstrated that one-sided compression produced a nonuniform relative density field from 0.79 to 0.89, with the highest values near the upper edge at the die wall. The difference between the density in the tablet core and the mean tablet density was about 7%. Under two-sided compression this difference decreased to about 4%, and the density field became more symmetrical. However, the overall effect of punch kinematics on density distribution remained limited for tablets whose height was much smaller than their diameter.

Conclusion. The hypothesis that the compression mode and punch motion significantly change density and strength distribution within such tablets was not confirmed. The findings can be used to substantiate the choice of compression mode and punch-motion law when optimizing tablet quality.

References

Gubenia O,, Zomenko O., Samarchuk S., Mnerie D. (2025), On the strength and friability of series products manufactured by direct compression of non-metallic granules, *Nonconventional Technologies Review/Revista de Tehnologii Neconventionale*, 29(3), pp. 15-21

Систематизація конструктивних особливостей обладнання для розливу ін'єкційних препаратів в ампули

Сергій Самарчук, Ігор Житнецький, Олександр Зьоменко
Національний Університет Харчових Технологій

Вступ. Аналіз наукової та навчальної літератури показує, що є значний дефіцит систематизованих даних по конструктивних особливостях, технологічних схемах і класифікації машин для розливу стерильних препаратів в ампули. Відсутній комплексний підхід до аналізу конструкцій обладнання з точки зору машинобудування.

Матеріали і методи. Метою дослідження є аналіз сучасної наукової літератури, систематизація та узагальнення конструктивних особливостей обладнання, систематизація виробничого досвіду. Використати методи порівняльного аналізу, структурно-функціональної декомпозиції технологічних модулів і класифікаційного групування.

Результати і обговорення. Все обладнання класифіковано за такими характеристиками: продуктивність (від 2 до 24 тисяч ампул на годину), ступінь автоматизації (напівавтоматичні, автоматичні, повністю автоматизовані лінії), конструктивне виконання (роторні, транспортерні, комбіновані). Типова конструкція складається з основних функціональних модулів: транспортування, орієнтація ампул, дозування, запайка, контроль якості, пакування. Ключовим вузлом є система дозування, зазвичай реалізується за допомогою перистальтичних, поршневих або керамічних насосів з точністю ±1–2 %. Проаналізовано особливості основних вузлів: механізмів подачі ампул (зірочкові транспортери, вакуумні захвати), дозуючих пристроїв (об’ємні та масові) і систем запайки (газокисневі пальники, індукційний нагрів, лазерна технологія). Встановлено тенденцію до впровадження систем машинного зору.

Висновок. Систематизація конструктивних рішень ампульного обладнання формує цілісне уявлення про технологічні можливості сучасних машин і визначає основні напрямки їх удосконалення. Ключові слова: ампульне обладнання, ін'єкційні препарати, дозування, функціональна структура, GMP-стандарти.

Література

1. Syntegon (formerly Bosch Packaging). Ampoule Filling Machines - ALF 4000 and ALF 5000 Series [Electronic resource]. – 2025.
2. Vial Filling Machines and Liquid Filling Solutions - FLC 3000 [Electronic resource]. – 2025.
3. Cozzoli Machine Company. FPS Ampoule Filling and Sealing Machines Technical Specifications [Electronic resource]. – 2025.
4. Marchesini Group. Ampoules Filling & Sealing Machines [Electronic resource]. – Production capacity 6,000-24,000 pieces per hour. – 2025.
5. Lodha Pharma. Automatic Ampoule Filling and Sealing Machine - Servo-based System [Electronic resource]. – 2026.

Первапорація як метод розділення ефірних олій на компоненти

Анння Буднік, Олена Подобій, Ігор Житнецький
Національний університет харчових технологій

Вступ. Ефірні олії являють собою багатокомпонентні суміші летких речовин, що утворюються в різних органах рослин і випаровуються за звичайної температури. До їх складу входять вуглеводні, а також оксигеновмісні сполуки, зокрема спирти, кетони, альдегіди, аліфатичні та циклічні кислоти, етери й естери. Оскільки ефірні олії здатні випаровуватися, їх отримують із природних джерел методом перегонки. Одним із мембранних процесів розділення рідких сумішей, що наразі обмежено використовується в промислових масштабах, є первапорація. Цей метод є особливо ефективним у випадках, коли традиційна дистиляція (ректифікація) є неефективною або економічно недоцільною. Його також застосовують для зневоднення органічних розчинників, очищення стічних вод у харчовій, хімічній і фармацевтичній промисловості, а також в енергетичній галузі.

Матеріали та методи. Огляд літературних джерел свідчить, що для вилучення конкретних компонентів з ефірної олії — це складний процес, який потребує лабораторного обладнання. Найчастіше використовують такі методи: фракційна дистиляція (ректифікація), виморожування (кристалізація), вакуумна дистиляція, колонна хроматографія. Первапорація дозволяє здійснювати покомпонентний розподіл або вилучати групи компонентів близьких за своїми фізико-хімічними властивостями.

Результати та обговорення. Первапорація — це технологія розділення рідких сумішей, за якої потік рідини, що містить два або більше компонентів, контактує з одного боку з непористою полімерною або молекулярно-пористою неорганічною мембраною (наприклад, цеолітною), тоді як з іншого боку підтримується вакуум або здійснюється продування інертним газом.

Мембранний процес первапорації дає змогу ефективно розділяти як водно-органічні, так і органічні суміші. Перспективність цього методу зумовлена актуальністю задач, що розв’язуються, а також його високою ефективністю порівняно з іншими процесами розділення. Зокрема, до переваг належать можливість розділення азеотропних сумішей, низька енергоємність, відсутність потреби в реагентах і компактність обладнання.

Актуальними, стримуючими промислове застосування процесу завданнями є: пошук і вибір мембран і мембранних матеріалів, що відповідають специфічним вимогам для вирішення певної задачі розділення; визначення основних факторів, що впливають на ефективність розділення.

Висновок. Для розділення ефірних олій, отриманих із рослинної сировини, доцільно застосовувати метод первапорації, який порівняно з іншими методами має низку переваг: збереження якості термолабільних компонентів, високу селективність розділення, низькі енерговитрати, здатність розділяти азеотропні суміші, екологічність і відсутність потреби в реагентах, а також простоту масштабування та експлуатації.

Література

Фармацевтична енциклопедія / голова редакційної ради та автор передмови В. П. Черних ; Національний фармацевтичний університет України. — 2-ге вид., переробл. і доповн. — Київ : МОРІОН.

Аналіз конструктивних особливостей модулів дозування рідких лікарських форм

Сергій Самарчук, Ігор Житнецький, Олександр Зьоменко
Національний Університет Харчових Технологій

Вступ. Отриманий практичний досвід роботи на АТ «Фармак», та аналіз технічної літератури показує що конструкція модулів дозування не є досконалою, і потребує постійної адаптації для різних умов виробництва та різних типів продукції.

Матеріали і методи. Метою є аналіз конструкції, патентів, наукової літератури та статей, опитування фахівців галузі, для подальшого опрацювання і моделювання конструкції дозувального модуля.

Результати і обговорення. В сучасних машинах використовується сім основних типів дозувальних модулів. Поршневі насоси (Piston Pumps / Rotary Valve Piston Pumps). Принцип роботи: об'ємне дозування за допомогою зворотно-поступального руху поршня. Перевагами є висока точність дозування, даний тип підходить для широкого діапазону в'язкостей (від водних розчинів до густих олій), простота конструкції, можливість CIP/SIP стерилізації. Перильстатичні насоси (Peristaltic Pumps). Принцип роботи: Роликовий ротор стискає трубку, переміщуючи продукт. Переваги: мінімальна контамінація – продукт контактує тільки з одноразовою трубкою, але недоліками такого методу є періодична заміна трубок та обмеження по в'язкості. Серво-керовані системи (Servo-Based Filling Systems). Принцип роботи: серво-мотори керують поршнями або насосами. Переваги: максимальна точність та повторюваність, автоматична корекція об'єму. Вакуумні системи час-тиск (Vacuum / Time-Pressure Filling). Принцип роботи: наповнення під контрольованим тиском або вакуумом. Переваги: проста конструкція, низька вартість, підходить для великих об'ємів. Недоліки: менша точність порівняно з поршневими/перистальтичними, залежність від в'язкості та температури. Системи масового потоку (Mass-Flow Filling). Принцип роботи: вимірювання маси продукту під час наповнення через датчики масового витратоміру. Переваги: точність для продуктів зі змінною густиною, не залежить від в'язкості та температури. Роликові діафрагмові насоси (Rolling Diaphragm Pumps). Принцип роботи: м'яка діафрагма перекочується під дією кулькового елемента. Переваги: Підходить для делікатних біопрепаратів, має мінімальне механічне напруження. Інтегровані вагові системи (Check-Weighing Systems). Принцип роботи: зважування кожної ампули до і після наповнення, автоматична корекція об'єму через зворотний зв'язок. Переваги: найвища точність через прямий контроль маси, автоматична компенсація відхилень, 100% контроль кожної ампули, відповідність FDA/GMP вимогам.

Висновок. При конструюванні і підборі дозувальних модулів керуються принципами «гігієнічного дизайну», підбором матеріалів залежно від хімічних властивостей продукту, принципами герметизації, для запобігання контамінації, можливості CIP/SIP сумісністі, та забезпечення точності та повторюваності.

Література

1. Гладух Є.В., Рубан О.А., Сайко І.В. [та ін.]. Промислова технологія лікарських засобів: базовий підручник для студ. вищ. навч. фармац. **закладу. –** Х.: НФаУ: Новий Світ-2000, 2018. – 486 с.
2. What Is an Ampoule Filling and Sealing Machine? The Complete Guide // Finetech Pharma Machinery. – 2025. – September.

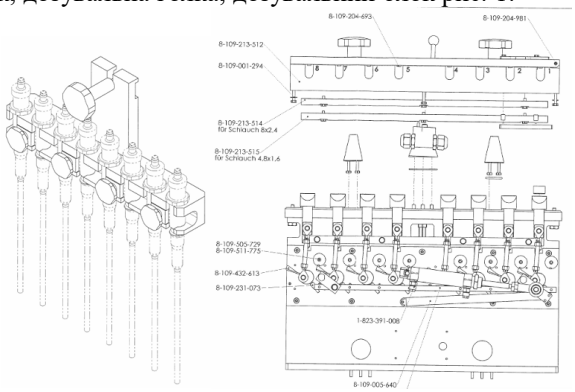
Структурна схема вузла дозування поршневого типу рідких лікарських форм

Сергій Самарчук, Ігор Житнецький, Олександр Зьоменко
Національний Університет Харчових Технологій

Вступ. Незважаючи на критичну важливість точності дозування рідких лікарських форм в ампули (±0.5-1%) відповідно GMP вимогам, конструктивні особливості поршневих дозувальних систем ампульних машин залишаються недостатньо висвітленими у технічній літературі, що ускладнює їх оптимальне налаштування, обслуговування та модернізацію на фармацевтичних підприємствах .

Матеріали і методи. Аналіз сучасної наукової та навчальної літератури і узагальнення особистого виробничого досвіду.

Результати і обговорення. Складовими вузлами модуля дозування рідких лікарських форм є: Розширювальний бак накопичувач рідини, колектор, дроселі, система TPFE трубок, дозувальна голка, дозувальний блок рис. 1.



а **б**

Рис. 1. Структурна схема вузла дозування поршневого типу (*б*), та блоку з голками наповнення *(а)*

Принцип роботи модулів поршневого типу базується на об'ємному дозуванні за допомогою зворотно-поступального руху поршня, додатково встановлюється сервопривід для точного контролю ходу поршня. Діапазон дозування: 0.5 мл до 30 мл. Швидкість: 10-250 ампул/хвилину. Перевагами є висока точність дозування, простота конструкції та обслуговування, можливість CIP/SIP стерилізації.

Висновок. Така схема компоновки у випадках роботи з в’язкими препаратами може давати похибку дозування більше 5% що є недопустимо в рамках виробництва парентеральних препаратів. Конструкція потребує додаткового аналізу, та вдосконалення. Необхідно створити симуляційну модель, для імітації процесу дозування.

Література

1. Гладух Є.В., Рубан О.А., Сайко І.В. [та ін.]. Промислова технологія лікарських засобів: базовий підручник для студ. вищ. навч. фармац. закладу**.** – Х.: НФаУ: Новий Світ-2000, 2018. – 486 с.
2. What Is an Ampoule Filling and Sealing Machine? The Complete Guide // Finetech Pharma Machinery. – 2025. – September.

Удосконалення процесу і обладнання для фільтрування екстракту солоду при

виробництві функціональних харчових продуктів

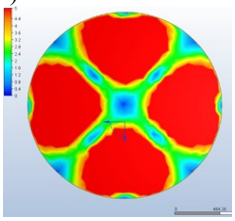
Ігор Твердун, Микола Десик, Олексій Губеня
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Солодові екстракти є цінним джерелом біологічно активних компонентів, які можуть використовуватися при виробництві функціональних харчових продуктів. Однак до даної сировини є ряд вимог до стабільності якісних показників, які в свою чергу, значною мірою, залежать від процесу фільтрування. Тому удосконалення конструкції фільтрів з метою підвищення продуктивності технологічного процесу та якості продукту є актуальним завданням.

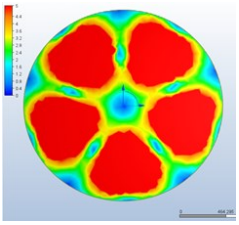
Матеріали та методи. Досліджено вплив конструктивних особливостей підситового простору, а саме розташування та кількість трубок відведення сусла апарату для фільтрування солодового екстракту, на продуктивність апарату та якість фільтрування. Моделювання цих процесів виконано за допомогою Autodesk CFD.

Результати та обговорення. Дослідження спрямоване на визначення необхідної кількості патрубків та місць їх розташування для зменшення турбулентності в зоні виходу екстракту, зменшення площі зон застою, збільшення швидкості фільтрації та, як наслідок, підвищення ефективності пристрою. Кількість патрубків приймалася від 2 до 8. Збільшення кількості отворів з 2 до 8 не впливає на час фільтрації, але зменшує турбулентну кінетичну енергію в підситовому просторі на 90%.

При встановленні 2 отворів утворюється нестабільна зона біля патрубків відведення, що супроводжується погіршенням якості фільтрату. Збільшення кількості отворів призводить до зниження швидкості руху рідини і відповідно турбулентної кінетичної енергії але також може до утворення застійних зон. Виконано моделювання руху рідини у площині паралельній до днища на відстані 5мм (Рис.1). В результаті моделювання отримали зображення місця застійних зон (синій колір відповідає швидкості руху рідини 0мм/с).



4 патрубки



5 патрубків

Рис.1. Графічне зображення швидкості руху рідини у підситовому просторі при швидкості руху рідини в діапазоні від 0 до 5 мм/с

В застійних зонах можуть накопичуватися дрібні часточки солоду, які не повернуться у фільтр апарат при циркуляції сусла та не віддадуть екстрактивні речовини. Також, це впливає на створення «брудних» зон при промивці апарату між завантаженнями.

Висновок. Оптимальною кількістю патрубків з точки зору зменшення площі застійних зон є використання 4 та 5 патрубків, але попередні моделювання показали, що при 4 отворах більша турбулентність потоку в зоні патрубка (в зоні відведення фільтрату), що негативно впливає на процес фільтрації та якість фільтрату. Рекомендована кількість отворів для відведення фільтрату – 5. При цій кількості величина ТКЕ (що менше на 39%, у порівнянні з 4 отворами) у зоні відведення сусла та менша площа застійних зон у порівнянні з іншими варіантами.

Вплив густини таблетки та законів руху пуансону на якісні показники та розподіл густини у таблетці

Олександр Зьоменко, Ігор Житнецький, Максим Власов, Олексій Губеня
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Дослідження проведені з метою визначити вплив густини таблетки на її міцність і стиранність із врахуванням способу пресування та кінематики руху пуансонів.

Матеріали і методи. Міцність і стираність визначалися за фармакопейними методами для двох типів таблеток різної рецептури. Розподіл густини визначався методом імітаційного моделювання із застосуванням програмного пакету COMSOL Multiphysics.

Результати і обговорення. Міцність таблетки має складну залежність від її густини. При густині до 0.7 г/см^3 таблетка розсипається у руках і є непридатною для наступних технологічних операцій. Виділяються три зони, де зміна міцності описується різними законами: I – міцність таблетки зростає пропорційно до її густини; II –міцність зростає за параболічною залежністю; III – зростання міцності сповільнюється, міцність знижується, таблетка розшаровується.

Зі збільшенням густини стираність таблетки знижується за параболічною залежністю. При густині 0.8–1.0 г/см^3 стиранність досліджуваних таблеток стає меншою за 1%, а при 1.3–1.7 г/см^3 починає зростати і стає більшою за регламентовані межі.

При односторонньому пресуванні на протилежних краях таблетки у зоні контакту з поверхнею матриці виникають зони із більшими і меншими напруженнями і густинами. Проте густини у ядрі таблетки не перевищує середню густину більше ніж на 7%. Це незначно впливає показники міцності і стиранності. При двосторонньому пресуванні на краях таблетки у зоні контакту з матрицею виникають концентрації напружень і зони з більшою густиною. Густина у ядрі таблетки не перевищує середню густину більше ніж на 4%, що є меншим порівняно із таблеткою, виготовленою одностороннім способом пресування. Такий же результат підтверджено при двосторонньому способі пресування із синосоїдальним законом переміщення та прискорення пуансону.

Не підтверджуються гіпотеза, що спосіб пресування і кінематика руху пуансону значно впливають на розподіл густини і міцності у таблетці за умови.

Висновок. Дані про міцність і стиранність таблетки, а також розподіл густини за її об’ємом важливі при виборі способу і режимів пресування та для обґрунтування закону руху пуансонів.

Література

Gubenia O,, Zomenko O., Samarchuk S., Mnerie D. (2025), On the strength and friability of series products manufactured by direct compression of non-metallic granules, *Nonconventional Technologies Review/Revista de Tehnologii Neconventionale*, 29(3), pp. 15-21

Аналіз будови і роботи бісерних млинів із безперервним розділенням продукту від робочих тіл

Костянтин Омеляненко, Анна Буднік
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Для підвищення ступеня подрібнюваності в бісерних млинах в першу чергу впливають три фактори: конструкція ротора, його швидкість обертання, використання мікробісеру (0,3-0,5мм). Однією з проблем безперервних БМ являється якісне розділення продукту від робочих тіл.

Матеріали та методи. Технологія DCP-SuperFlow — це платформа подвійного циліндричного кульового млина розроблена Bühler, яка забезпечує високоефективне руйнування частин продукту із використанням мікробісеру та гідродинамічної сепарації.

Результати та обговорення. На рисунку 1 бісерний млин Bühler ZR120. Особливість його конструкції в рухомому 2 і не рухомому роторі 5, обидва мають набір пальців які під час обертання проходять один між одним тим самим перемішуючи завантажену масу. Суспензія центрифугується обертовим ротором 2 за допомогою перегородок 3 розташованих на внутрішній поверхні ротора. Поруч із перегородками розташовані щілинні отвори 8 в циліндрі ротора, через різницю в щільності та розмірі, бісер 6 розділяється відцентровою силою та повертається через щілини 3 у вхідну зону зовнішньої камери млина. Коли свіжий продукт надходить до зовнішньої камери через вхідний патрубок S1, бісер знову переноситься до низу у зовнішню камеру млина. Продукт проштовхує бісер який за рахунок відцентрової сили залишався на певному рівні камери. Таким чином, забезпечується повна рециркуляція бісеру з внутрішньої камери до зовнішньої.

Коли ротор 2 обертається, бісер відштовхується відцентровою силою до стінок камери. Суспензія проходить крізь прорізи пристрою відведення суспензії, які мають форму вузьких щілин із певним нахилом, звідки очищена суспензія спрямовується у вихідний канал. Таким чином, бісер утримується в камері, а готовий продукт виходить назовні. Це забезпечує якісне розділення продукту та безперервний процес.

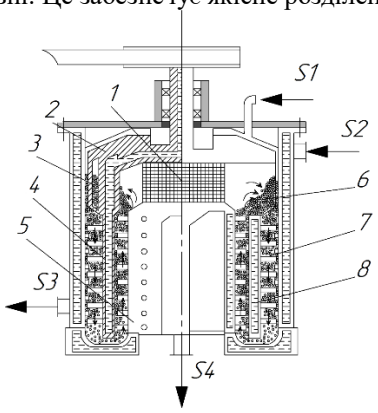


Рис. 1. Конструкція бісерного млина Bühler ZR120: 1 – пристрій відведення суспензії; 2 – рухомий ротор; 3 – перегородки для сепарування циркуляції; 4 – охолоджувальна сорочка; 5 – барабан; 6 – бісер; 7 – пальці; 8 – щілинні отвори.

Висновки. Завдяки такій конструктивній особливості стає можливим використання бісеру малого діаметру від 0,3–0,5мм. Відцентровий принцип роботи цього млина дозволяє використовувати робочі тіла малого діаметру, отримати необхідні надтонкі частинки продукту за відносно короткий проміжок часу.

Вплив частоти обертання робочих органів бісерного млина на кінетику руйнування клітин дріжджів

Костянтин Омеляненко, Анастасія Ткаченко,
Дмитро Осадчий, Володимир Буденюк, Катерина Грінінг
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Мета досліджень – визначити вплив частоти обертання робочих органів бісерного млина на кінетику руйнування клітин дріжджів Saccharomyces cerevisiae.

Матеріали і методи. Дослідження проведені на бісерному млині із робочими органами дискового типу з частотою обертання 600, 1500 і 2400 об/хв. Кількість мертвих цілісних клітин визначалися фарбуванням метиленовим синім. Клітини, у яких вміст вивільнився у навколишнє середовище, вважали зруйнованими.

Результати і обговорення. Початкова кількість цілісних зафарбованих клітин у суспензії складала 2.5–3.3%. Під час оброблення у млині їх кількість спочатку зростає до 10% при частоті обертання робочих органів 1500 об/хв і 28% – при 600 об/хв, а далі – спадає до нуля. При частоті обертання робочих органів 2400 об/хв кількість цілісних зафарбованих клітин протягом часу оброблення спадала до 2%. Велика кількість цілісних зафарбованих клітин при низькій частоті обертання робочих органів пояснюється меншою відцентровою силою і довшим часом вивільнення вмісту клітини у навколишнє середовище.

Зі збільшенням частоти обертання дисків бісерного млина від 600 до 2400 об/хв час, за який всі клітини руйнуються і вивільняється їх вміст, зменшується від 55 до 6 хвилин. Під час подальшого оброблення суспензії стінки клітин хаотично фрагментуються, і продовження процесу є нераціональним.

Через низьку швидкість руйнування клітин не рекомендується використовувати частоту обертання робочих органів меншу за 1500 об/хв.

Отримані графічні залежності кількості зруйнованих клітин описуються поліномінальними залежностями третього порядку. Швидкість руйнування клітин описується рівнянням другого порядку, що характерно для механічних методів руйнування клітин.

Збільшення швидкості руйнування клітин можливе за рахунок використання бісеру меншого діаметру у поєднанні із спеціальними конструкціями робочих органів дискового типу, зокрема, із криволінійними пазами, або використанням робочих органів турбінного типу.

Висновки. Частота обертання робочих органів бісерних млинів значно впливає на кінетику процесу руйнування. Отримані результати можуть бути корисними під час вибору режимних параметрів роботи бісерних млинів.

Література

1. Hrininh, K., Hordeichuk, R., Gubenia, O. (2018), Comparative analysis of equipment and research the superfine grinding process of titanium dioxide and quinacridone red suspensions in the bead mill, Ukrainian Journal of Food Science, 6(1), pp. 82–94.
2. Kasyniuk M., Hrininh M., Ponomarenko A., Gubenia A., Omelianenko K. (2025), Bead mills for destruction of microbial cells in production of microbial synthesis products, Food Industry, 37, pp. 190-218, DOI: 10.24263/2225-2916-2025-37-20
3. Omelianenko K., Gubenia O. (2025), Effect of working elements' rotation speed of bead mill on kinetics of yeast cell destruction, Food Industry, 38, pp. 233-243, DOI: 10.24263/2225-2916-2025-38-23

13.2.

Computer technologies of design and manufacture of packaging

13.2.

Комп'ютерні технології дизайну та виготовлення упаковки

Розробка конструкції картонної упаковки для перевезення розсади та саджанців

Нікіта Марченко, Розалія Хохлова
Національний університет харчових технологій

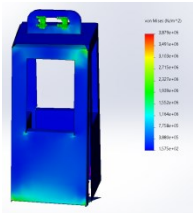
Вступ. Зростання популярності органічного садівництва та міського озеленення створює підвищений попит на спеціалізовану упаковку, що забезпечує оптимальні умови для живих рослин під час транспортування.

Матеріали та методи. Для ознайомлення із сучасними тенденціями в галузі транспортної упаковки для рослин виконано аналіз літературних джерел і патентної інформації. Виконано імітаційне моделювання з використанням програмного комплексу SolidWorks (модуль Simulation) для розрахунку напружено-деформованого стану конструкції. Об'єктом дослідження є виробничий процес виготовлення індивідуальної транспортної упаковки для садово-городньої продукції.

Результати дослідження. Упаковка має спеціальну конструкцію з вентиляційними отворами та дренажною системою, що забезпечує оптимальний мікроклімат для рослин під час транспортування (рис. 1 а). Використання тришарового гофрокартону типу С гарантує необхідну міцність при збереженні легкості конструкції. Сучасні технологічні можливості дозволяють застосовувати високотехнологічне обладнання. Використання екологічно чистих матеріалів, зокрема водорозчинних фарб, є ключовим напрямом розвитку пакувальної індустрії для сільськогосподарських потреб.

Варіант розрахунку, коли коробку із розсадою тримають за ручку, а зусилля діє на дно коробки, демонструє великі згинальні моменти та концентрацію напружень у верхній частині біля ручки та в місцях переходу стінок до днища (рис. 1 б). Якщо такої схеми розміщення вантажу уникнути не вдається, його маса не повинна перевищувати 0,5 кг. Більш доцільний варіант – забезпечити опору стінок горщика на внутрішні поверхніь "вікон". Таке навантаження призводить до відносно рівномірного розподілу напружень з піковими значеннями біля точок кріплення, які не перевищують межу міцності, і конструкція залишається неушкодженою.

а



б

Рис. 1. Упаковка для транспортування рослин і саджанців: а – 3D модель з графічним оформленням; б – напруження в упаковці.

Спроектована технологічна лінія включає сучасне обладнання: флексографічну машину BOBST MASTERFLEX HD 1600, висікальну машину Bobst MASTERCUT 1.65 та автоматизовану лінію фальцювання-склеювання. Автоматизація процесів дозволяє досягти продуктивності 7000-12000 заготовок на годину при забезпеченні стабільної якості.

Висновок. Розробка технологічного процесу виготовлення спеціалізованої упаковки для перевезення розсади та саджанців дозволить оптимізувати виробництво, підвищити якість готової продукції та забезпечити відповідність упаковки міжнародним вимогам до транспортування живих рослин.

Розробка упаковки для вологого котячого корму

Юлія Слободянюк, Олександр Гавва, Валентиина Степанець
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ: Вологий корм для котів є поширеним продуктом, який використовується як у домашніх умовах, так і для годування тварин на відкритих територіях. Упаковка для такого продукту повинна не лише забезпечувати збереження якості корму, але й бути зручною у використанні. Запропонована конструкція дозволяє трансформувати дой-пак у форму миски, що спрощує процес годування та підвищує гігієнічність. Окрім цього, важливим є врахування сучасних вимог до матеріалів упаковки, зокрема їх безпечності та можливості переробки.

Мета роботи: Розробка конструкції упаковки для вологого корму котів у вигляді дой-пака з можливістю трансформації у форму миски, що забезпечує зручність використання та підвищує гігієнічність процесу годування.

Матеріали та методи: Проєктування проведено на основі попереднього у ринку, відповідних технологій пакування. Аналіз фізико-хімічних властивостей продукту дав можливість підібрати відповідний пакувальний матеріал.

Результати: Результати дослідження. У результаті аналізу існуючих рішень встановлено, що традиційні упаковки для вологого корму котів не повністю відповідають вимогам зручності використання, особливо при годуванні тварин поза домом. Більшість дой-паків після відкривання потребують додаткового посуду або призводять до контакту корму з поверхнею, що знижує гігієнічність та спричиняє втрати продукту.

У ході роботи розроблено конструкцію дой-пака, яка передбачає можливість трансформації у форму миски після відкривання. Така форма забезпечує зручний доступ тварини до корму, зменшує його розтікання та дозволяє використовувати упаковку без додаткових ємностей. Конструкція адаптована до реальних умов експлуатації, зокрема нерівних поверхонь, що підвищує її практичність.

Рис. 1. Групова та первинна упаковки для вологого корму

Для виготовлення упаковки запропоновано використання багатошарових полімерних матеріалів із бар'єрним покриттям, що забезпечують збереження якості продукту та відповідають сучасним вимогам щодо зменшення негативного впливу на довкілля. Додатково передбачено використання групової гофрокартонної упаковки, яка забезпечує ефективне транспортування та захист продукції.

Висновки: Розроблена упаковка поєднує функціональність, яскравий та привабливий дизайн, зручність використання та відповідність сучасним вимогам до екологічності, що підвищує її конкурентоспроможність та доцільність впровадження у виробництві.

Розробка конструкції картонної упаковки для лохини

Марина Сторожук, Олександр Гавва, Розалія Хохлова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Лохину ми звикли бачити у полімерних контейнерах, прозорих і зручних, але вони є не екологічним рішенням і не завжди безпечні для продукту. Постійне використання полімерної тари створює значні обсяги полімерних відходів та підвищує навантаження на довкілля. Це спонукає шукати альтернативні рішення для пакування ягід, які б поєднували надійний захист продукції та екологічність, водночас залишаючись зручними для споживача.

Мета роботи. Розробити картонну упаковку для лохини, як безпечну та екологічну альтернативу полімерним контейнерам. Упаковка має забезпечувати зручність використання, надійний захист ягід та зменшення негативного впливу на довкілля.

Матеріали та методи. Основним матеріалом обрано крейдований картон GC2, товщиною 300 г/м², що забезпечує високу міцність, гладку поверхню та придатність до друку. Конструкція передбачає внутрішню частину без клею та міцну зовнішню частину. Для збереження якості лохини передбачено вентиляційні отвори, що підтримують повітрообмін і запобігають накопиченню вологи. А за потреби в конструкції утворені ручки, що робить перенесення упаковки зручним для споживача.

Результати досліджень. Аналіз споживчих переваг і тенденцій на ринку показав, що для лохини важливими є захист від механічних пошкоджень, легкий доступ до продукту та привабливий зовнішній вигляд упаковки. Саме це визначило форму та дизайн розробленої картонної упаковки, яка утримує ягоди на місці під час транспортування, забезпечує легкий доступ до продукту і має сучасний вигляд (рис. 1).

Рис. 1 Загальний вигляд картонного паковання типу «пенал»

Упаковка виготовлена з крейдованого картону GC2 з друком на поверхні зовнішньої частини, без використання лаку, що робить її більш екологічною та дозволяє зменшити вплив на довкілля, а внутрішня частина залишається без друку. Конструкція демонструє, що упаковку можна використовувати повторно для зберігання або перенесення інших продуктів чи дрібних речей, що підвищує її практичність і цінність для споживача. Впровадження такого типу картонного паковання для лохини є новинкою на ринку, адже ягоди зазвичай реалізують у полімерних контейнерах. Це рішення поєднує практичність та екологічність, дозволяє зменшити використання полімерів та підвищує привабливість продукту для споживача.

Висновки. Використання картонної упаковки для лохини є доцільним та ефективним рішенням. Розроблена конструкція забезпечує збереження якості продукції, зручність використання та транспортування, а також відповідає сучасним вимогам екологічності. Це рішення сприяє зменшенню використання полімерних матеріалів у пакуванні та впровадженню сталих підходів у пакуванні харчової продукції, роблячи картонну упаковку привабливою і перспективною альтернативою для ягідної продукції.

Картонна упаковка для набору ЧАЮ “Аліса в країні див”

Євгенія Бабенко, Наталія Кулик
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Чай є напоєм, що входить до щоденного раціону більшості людей. При цьому сучасна упаковка для чаю визначає позиціонування продукції та відображає її особливості з урахуванням тенденцій пакувальної галузі, в тому числі вимог сталого розвитку.

Мета роботи. Розробити упаковку для чаю, яка не лише виконає свої базові функції, такі як захист продукту від зовнішніх чинників, зручність транспортування, інформативність, дозування, а й матиме такі характеристики, які можуть здивувати та привернути увагу споживача, а також врахувати екологічні аспекти та вплив на навколишнє середовище.

Матеріали та методи. Упаковка виготовляється з двохсторонне крейдованого картону з застосуванням цифрового друку, фольгування та лакування, без склеювання. Конструктив вирізається, бігується та перфорується на плотері. Упаковка представлена чотирма окремими індивідуальними пакованнями, які об’єднані в групову упаковку.

Результати. Розроблена упаковка вирізняється унікальністю завдяки поєднанню оригінального конструктивного рішення та дизайну. Картонна упаковка для набору чаю «Аліса в країні див» містить чотири індивідуальних упаковки для чаю різних смаків. Після відкриття вона перетворюється у ігрове поле для чарівних персонажів, які завдяки перфорації складаються з однієї з граней індивідуальних упаковок.

Дизайн зроблений за мотивами книги Льюїса Керрола “Аліса в країні див”. Така упаковка розрахована на дитячу вікову категорію. Загальна упаковка містить Q-код, сканування якого надає можливість переглянути правила гри та безпосередньо пограти в саму гру.

Упаковка перетворює чаювання у захоплюючу подорож у країну див, завдяки додатковій ігровій функції, а також декоративним елементам дизайну, які відтворені з використанням тиснення фольгою з голографічним ефектом та вибіркового лакування. Упаковка є екологічною, тому що має подовжений життєвий цикл завдякі додатковій функціональності, та може бути повторно перероблена економічно доцільним шляхом.

Висновки: Нова упаковка для чаю має продуманий конструктив, цілісне візуальне оформлення та додаткову функцію, що дозволяє забезпечити конкурентоспроможність продукції та відповідність сучасним вимогам ринку та сталого розвитку.

Розробка конструкції паковання подвійного призначення для зоотоварів

Дмитро Устич, Валентина Степанець
Національний університет харчових технологій

Вступ. Паковання для зоотоварів зайняло особливу нішу ринку через специфічні вимоги і гуманізацію ставлення споживачів до тварин як до членів сім'ї, що підвищує вимоги до якості та дизайну.

Матеріали та методи. Для ознайомлення із сучасними тенденціями в галузі функціональної упаковки для зоотоварів виконано аналіз літературних джерел і патентної інформації, імітаційне моделювання з використанням програмного комплексу SolidWorks (модуль Simulation) для розрахунку напружено-деформованого стану конструкції.

Результати дослідження. Традиційно картонні паковання в сегменті зоотоварів використовуються як групова упаковка для реторт-пакетів або як транспортна тара. Однак нині з'являються нові функції, і сфера використання розширюється. В Україні зареєстровано багато зразків картонних виробів, які поєднують функцію притулку та скретчера. Сучасне виробництво паковань для зоотоварів є високотехнологічною, автоматизованою та екологічно орієнтованою галуззю.

Проблемою картонних коробок є те, що вони займають значний простір. Для її вирішення на бічних гранях виконані діагональні лінії бігування, завдяки яким готову коробку за потреби можна скласти, а також виконувати склювання клапанів безпосередньо на підприємстві-виробнику упаковки і надалі транспортувати вже готовий виріб. Розкладка заготовок на листі виконана в програмі Package Designer з використанням автоматичного асистента. Найменшу кількість відходів (21,5%) забезпечує використання листів Speedmaster XL розміром 1620×1300 мм, при цьому на листі вміщується 4 заготовки.

Аналіз результатів комп'ютерного моделювання дозволив оцінити експлуатаційну надійність розробленої конструкції паковання «другого життя» за різних типів механічного впливу. Завдяки використанню п'ятишарового гофрокартону (EB Flute), напруження не перевищують **допустимих значень опору торцевому стисненню (ECT,** зазвичай для обраного матеріалу становить 5.5 – 10,5 кН/м**)**, що гарантує цілісність конструкції під час штабелювання та в процесі взаємодії тварини з коробкою. Максимальні деформації матеріалу (2,799e-04) корелюють із зонами найбільших напружень та переміщень, підтверджуючи, що матеріал працює в межах пружності.

Для виготовлення упаковки підібрано ключове технологічне обладнання: використання комплексу Esko Crystal Line для виготовлення фотополімерних флексоформ забезпечує необхідну високу якість друку (подібну до офсету), а застосування автоматичної лінії BOBST FFG 1636 NT дозволяє об'єднати друкарсько-висічні та фальцювально-склеювальні операції в єдиний високопродуктивний цикл, оптимізуючи собівартість кінцевого продукту.

Висновок. Проведені дослідження підтверджують високу міцність конструкції гофрокартонної коробки. Вона ефективно витримує як динамічні (стрибок кота), так і значні статичні навантаження (40 кг), що робить її надійною як транспортною тарою, так і основою для вторинного використання у якості будиночка для тварин. Запропоновані технологічні та конструкторські рішення дозволяють впроваджувати інноваційні, екологічно відповідальні продукти, що мають високий попит на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Проєктування споживчих упаковок для ЗСУ з термонагрівом харчових продуктів

Іван Сотник, Олександр Гавва
Національний університет харчових технологій

Вступ. Паралельно зі зростанням вимог до енергетичної цінності, різноманітності меню та органолептичних характеристик раціонів військовослужбовців, все більшої уваги набувають питання автономності їх використання. Умови сучасних бойових дій вимагають, щоб військовослужбовець міг спожити повноцінний гарячий прийом їжі без доступу до стаціонарної кухні, без відкритого вогню та без залучення додаткових ресурсів (води, палива), які можуть бути обмеженими або небезпечними з погляду демаскування. Існуючі методи підігріву їжі не повною мірою відповідають вимогам Збройних Сил України, які обумовлені одночасною дією трьох факторів: високої загрози демаскування, дефіциту води на передових позиціях та обмежень щодо ваги індивідуального спорядження.

Методи та методики. Запропоноване технічне рішення передбачає створення активної гнучкої упаковки для перших та других страв військових раціонів, у конструкцію якої інтегровано електронагрівальний елемент на основі ніхромової нитки. Джерелом живлення виступає стандартний для сучасного солдата портативний акумулятор (powerbank) з підтримкою протоколу USB Power Delivery (USB-PD) потужністю 45–65 W. При підключенні до пакета електрична енергія перетворюється у теплову в шарі ніхромового провідника, розташованого в товщині стінки пакета.

Результати досліджень. Упаковку (рис.1) виконано у форматі гнучкого пакета типу Doy- pack (реторт-пакет із донним швом), призначеного для фасування перших і других страв добового раціону. Нагрівальний елемент розташовується лише в центральній частині стінок, не заходячи у зони швів, що забезпечує збереження герметичності, стабільність зварних з'єднань і знижує ризик локального перегріву полімерних шарів у місцях запаювання. Вузол підключення розміщено у верхньому правому куті активної зони нагріву на лицьовій стороні пакета — у місці, де завершується трасування ніхромового провідника та забезпечується короткий підвід до контактної площадки. Упаковка виготовлена з багатошарового пакувального матеріалу, що включає внутрішній реторт-зварювальний шар (RCPP), ізоляційно-нагрівальний шар із ніхромовим провідником, бар'єрний шар (AL) та зовнішній шар (PET або PET/SiOx). Запропонована структура забезпечує поєднання термостійкості, бар'єрних властивостей, механічної міцності та передумов електробезпеки при локальному нагріві.

Рис. Загальний вигляд упаковки

Висновки. Розроблена упаковка з термонагрівом харчових продуктів придатна до масштабування, адаптації під різні меню та інтеграції у діючі ланцюги постачання. Рішення забезпечує можливість підігріву без потреби у воді/паливі, що є критично важливим у польових умовах, а також формує додатковий сценарій використання відпрацьованого пакета як короткочасного джерела тепла у холодний період за наявності безпечних умов застосування.

Розробка комбінованої упаковки для яєць з інтерактивним додатком до великодня

Анна Березутська, Наталія Кулик
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ: Курячі яйця – крихкий продукт повсякденного попиту, який потребує надійного захисту та специфічної геометрії паковання. Проте напередодні Великодніх свят стандартна упаковка мас-маркету не задовольняє потребу споживачів у святкових емоціях. А сам продукт має найбільший попит у цей період. Сьогодні актуальним є створення паковання, що не лише гарантує збереження товару, а й несе додаткову культурну цінність, є екологічно безпечним та пропонує інтерактивну взаємодію.

Мета роботи: Розробити конструкцію та дизайн акційної великодньої упаковки для яєць, яка гармонійно поєднає функціональний захист крихкого продукту, автентичну національну символіку та освітні елементи, з дотриманням екологічної відповідальності та економічної доцільності.

Матеріали та методи: Упаковка є комбінованою двоелементною конструкцією. Базовий лоток на 10 яєць виготовлено з формованої паперової маси. Зовнішня обечайка виготовляється з картону без лакування і фіксується за допомогою системи клапанів-замків без використання клею, на передній грані має перфорацію для відкриття. Як подарунковий елемент використовуються 10 декоративних термоетикеток з ПЕТ-плівки.

Результати: Розроблена акційна упаковка «Летичів» вирізняється оригінальною концепцією багаторівневого розпакування. Потрібно розірвати обечайку стрічкою перформації і відкрити лоток, щоб отримати подарункові етикетки. Дизайн картонної обечайки виконаний у традиційних великодніх кольорах.

Особливість упаковки – звернення уваги на традиції, адаптовані до сучасних технологій, та емоції під час взаємодії з упаковкою. Відсканувавши QR-код, споживач потрапляє до цифрової «Галереї подарунків», де розкривається символізм кольорів та значення орнаментів різних етнографічних регіонів України, що зображені на термоетикетках. У цільового споживача не має часу займатись писанкарством, але ці етикетки дозволяють легко прикрасити яйця і створити святковий, автентичний Великодній кошик. Крім того, паковання є екологічним: обечайка та лоток переробляються як макулатура. Лоток може використовується повторно, адже він відповідає стандартам і не задруковується та не псується клеєм від етикетки, а ПЕТ-плівка легко відокремлюється для сортування пластику.

Висновки: Розроблена комбінована упаковка має оригінальну конструкцію та дизайн, що суттєво вирізняє її з-поміж стандартних рішень. Вона надійно захищає крихкий продукт, не використовує клею та легко переробляється, що мінімізує негативний вплив на довкілля, тож відповідає вимогам сталого розвитку. Інтеграція національних орнаментів та цифрового контенту надає продукту додаткової освітньої функції, відповідає сучасному світу і перетворює звичайний товар на емоційний святковий набір.

Розробка конструкції та технології виготовлення гнучкого полімерного паковання для сухих сніданків

Марія Куниця, Леся Марцинкевич, Олена Бабанова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сухі сніданки є однією з найбільш популярних категорій швидких у приготуванні харчових продуктів. Їх активно споживають різні вікові групи населення: від дітей до дорослих, оскільки вони поєднують зручність, поживність та приємні смакові властивості. На сучасному ринку сухі сніданки представлені у широкому асортименті — кукурудзяні пластівці, мюслі, гранола, подушечки з начинками та інші різновиди. Саме паковання забезпечує їхню довговічність, хрустку текстуру та привабливий зовнішній вигляд на полицях магазинів.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є створення конкурентоспроможного паковання для сухих сніданків, яке відповідатиме сучасним вимогам ринку, буде зручним для споживачів та дозволить забезпечити тривале зберігання сухих сніданків без втрати їхніх органолептичних властивостей.

Результати і обговорення. Сухі сніданки — це продукт, що має специфічні властивості і високі вимоги до умов зберігання. Розробка паковання для них повинна враховувати як функціональні, так і маркетингові та екологічні аспекти.

За прототип нової упаковки для сухих сніданків було обрано гнучкий полімерний пакет типу «дой-пак» із чотирма сторонами та плоским дном, оснащений zip-застібкою та насічками для легкого відкривання. Як пакувальний матеріал пропонується використати ламіновану структуру PET/PE або PET/AL/PE, яка забезпечує високі бар'єрні властивості.

Переваги обраного паковання: збереження якості продукту протягом усього терміну зберігання завдяки бар'єрним плівкам, що перешкоджають проникненню вологи та кисню; можливість повторного закривання завдяки zip-застібці, що є особливо важливим для сухих сніданків, які споживають неодноразово; стійкість упаковки на полиці за рахунок наявності плоского дна, що забезпечує привабливу презентацію продукту; зручність транспортування і зберігання, можливість фасування у різні об'єми (250…1000 г); велика площа для друку на чотирьох сторонах пакета, що дозволяє розміщувати маркетингову інформацію, яскраві зображення та інструкції для споживачів.

Висновки. Обраний прототип паковання є оптимальним для сухих сніданків, оскільки поєднує бар'єрні властивості, функціональність, зручність використання та привабливий зовнішній вигляд.

Розробка гнучкої екологічної упаковки для насіння соняшника

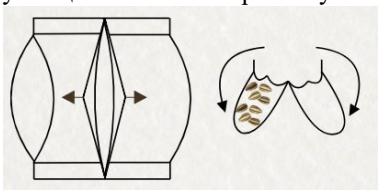
Софія Захарчук, Наталія Кулик
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ: зростання попиту на фасоване насіння соняшника та підвищення вимог до якості, збереження свіжості продукту і його захисту від зовнішніх факторів обумовлюють необхідність розробки сучасної гнучкої упаковки. Особливого значення набувають екологічність матеріалів та відповідність принципам економіки замкненого циклу.

Мета роботи: Розробити конструкцію та дизайн економічної та екологічної упаковки для насіння соняшника, яка поєднає захист пакованого продукту, забезпечує зручність у використанні та відповідає вимогам сталого розвитку.

Матеріали та методи: Упаковка виготовляється з інноваційного комбінованого пакувального матеріалу PAP-AT (SA 710ec), який складається з паперової основи Niklaflex 60, PAP та екструзійного полімерного водорозчинного покриття.

Результати: Розроблена упаковка «Сонячне зернятко» відноситься до упаковки типу «флоу-пак», але відрізняється від аналогів співвідношенням геометрічних розмірів та матеріалом. Конструкція паковання та матеріал на основі паперу, що тримає складку, дозволяє при відкритті упаковки в області повздожнього шва утворювати двосекційну стійку упаковку, в однієї секції якої розміщується насіння, а другу секцію можна використовувати для збору лушпіння.



Дизайн упаковки відповідає трендам екологічності та мінімалізму. Образотворчі, сиволічні та текстові елементи відповідають пакованому продукту, інформують про його відчизняне походження, високі якісні та смакові характеристики та додаткову функцію зручності для споживача. Конструкція упаковки не тільки додає зручності, але й сприяє підвищенню культури споживання та турботі про довкілля.

Крім того, паковання є екологічним:

- основою є папір, що є відновлюваним ресурсом
- полімерне покриття розчиняється у воді під час переробки
- упаковка може утилізуватися разом із макулатурою.

Папір з покриттям розпадається з повним розчиненням волокон під час повторного перетворення в целюлозу при 40°C і вище (покриття майже не виявляється під час повторного перетворення в целюлозу при 20°C) відповідає критеріям, викладеним у ISO 5263/1 «Лабораторна дезінтеграція хімічної целюлози».

Висновки: Розроблена гнучка упаковка має оригінальну конструкцію та дизайн, що надає їй переваг у порівнянні з аналогами на ринку. Вона дбає про споживача, забезпечує зручне споживання пакованого продукту. Мінімізує негативний вплив на довкілля, завдяки використанню екологічного пакувального матеріалу, який може перероблятися разом з макулатурою, тож відповідає вимогам сталого розвитку.

Розроблення картонної упаковки для піци з ручкою

Руслана Білик, Леся Марцинкевич
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Вступ. Динамічний розвиток сегмента доставки готової їжі потребує пакувальних рішень, що поєднують ергономічність, збереження якості продукту та екологічну безпеку. Стандартні конструкції коробок для піци часто не мають зручних елементів для транспортування, що змушує споживачів використовувати додаткові пластикові пакети або відчувати термічний дискомфорт при ручному перенесенні гарячого продукту.

Матеріали та методи. Проєктування передбачало аналіз ринкових аналогів та прототипу, проведення опитування цільової аудиторії, розробку конструкції, дизайну та вибір матеріалу для виготовлення.

Результати досліджень. Аналіз прототипу показав, що попри вдалу восьмигранну форму, паковання потребує вдосконалення ергономіки. У результаті досліджень розроблено конструкцію з інтегрованою ручкою, що є частиною цілісної розгортки кришки.

Рис.1. 3D-модель коробки для піци з ручкою

Для виконання потрібних функцій упаковка виготовлена з тришарового гофрокартону профілю «Е», що забезпечує необхідну жорсткість на вигин та низьку теплопровідність. Восьмигранна форма зі зрізаними кутами створює додаткові ребра жорсткості та забезпечує стабільне горизонтальне положення піци під час перенесення однією рукою.

Художнє оформлення виконано з урахуванням сучасних тенденцій та типу упаковки. Розділений навпіл та розміщений на двох частинах кришки логотип створює інтерактивний ефект при відкритті коробки.

Екологічний аналіз підтвердив, що розроблена упаковка дозволяє повністю відмовитися від поліетиленових пакетів. Вона складається з целюлозних волокон, підлягає вторинній переробці та здатна до повного біорозкладання протягом приблизно 2 місяців. Технологічні відходи при висіканні повністю повертаються у виробничий цикл як макулатура.

Висновки. Розроблена картонна упаковка для піци з ручкою є прикладом ефективного поєднання ергономічного дизайну та екологічної відповідальності. Вона підвищує рівень комфорту споживача та конкурентоспроможність бренду.

Розроблення упаковки для шоколадного печива

Ілля Колос, Вікторія Морфлюк-Щур, Леся Марцинкевич
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Вступ. Упаковка для шоколадного печива виконує не лише функцію захисту, але й значною мірою формує сприйняття продукту споживачем. Її основні завдання - запобігання механічним пошкодженням тендітного печива, захист від впливу вологи та сторонніх запахів, а також забезпечення зручності у використанні.

Мета роботи. Метою курсового проєкту є розробка конструкції та дизайну картонної упаковки для шоколадного печива «Meow Cookies», яка забезпечує захист продукту, зручність використання та відповідає сучасним екологічним вимогам.

Матеріали та методи. Упаковка розроблена на основі палітурного картону Eska Board товщиною 1,5 мм, що забезпечує жорсткість конструкції. Для зовнішнього оформлення використано дизайнерський папір Sirio Color щільністю 115–125 г/м² з подальшим лакуванням.

Результати. У результаті роботи розроблено упаковку типу «кришка-дно», яка складається з окремої основи та знімної кришки. Така конструкція забезпечує:

Особливістю рішення є використання картонного внутрішнього розділювача замість пластикового ложемента, що дозволяє зменшити кількість відходів. Дизайн упаковки виконано у шоколадно-кремовій кольоровій гамі з акцентом на зображенні печива у формі лапки, що підсилює впізнаваність продукту та приваблює споживача.

Рис. 1. Загальний вигляд упаковки

Висновки. Розроблена упаковка відповідає вимогам міцності, зручності та екологічності. Використання картону як основного матеріалу дозволяє відмовитися від пластику та спростити процес утилізації. Запропоноване рішення може бути використане у серійному виробництві та забезпечує конкурентоспроможність продукту на ринку

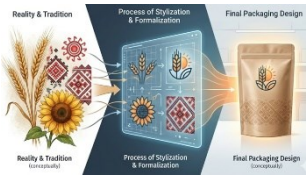
Формалізація та стилізація в графічному моделюванні

Вікторія Бишовець
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

ВСТУП. У сучасному графічному дизайні стиль виступає не просто як естетична категорія, а як потужний інструмент комунікації. Процеси формалізації та стилізації дозволяють перетворити складні образи реального світу на лаконічні графічні знаки, зрозумілі споживачеві. Особливого значення це набуває в дизайні пакування, де візуальна метафора та асоціативний ряд стають вирішальними факторами.

Матеріали і методи. Роботу виконано на основі аналізу літератури з питань теорії стилю [1], українського мистецтвознавства та міфології [2,3,4]. Застосовано методи аналогії та узагальнення для аналізу етнокультурних кодів сучасності.

Результати і обговорення. Формалізація та стилізація є базовими методами графічного моделювання. Стилізація передбачає декоративне узагальнення фігури або предмета, відмову від другорядних деталей на користь виразності силуету та характеру. У дизайні пакування це дозволяє миттєво передати суть продукту: наприклад, геометризоване зображення колосся або соняшника працює як символ натуральності та родючості швидше, ніж фотографічне зображення. Важливу роль у цьому процесі відіграють метафори та асоціації. Дизайн пакування часто апелює до глибинних культурних пластів. Використання елементів української міфології та народного мистецтва дозволяє створювати стійкі асоціативні зв'язки. Графічні акценти, побудовані на знайомих архетипах (орнаментальні мотиви, солярні знаки, традиційна колористика), викликають у споживача відчуття довіри та причетності до спільної культури. Це явище описується як "генетична пам'ять" у дизайні, коли візуальний код зчитується на підсвідомому рівні.



Акценти в графічному дизайні пакування (колірні, масштабні, змістові) слугують навігаторами для ока. Вдало підібрана візуальна аналогія може замінити текстовий опис. Наприклад, використання фактури крафтового паперу або стилістика "наївного мистецтва" автоматично асоціюється з екологічністю та ручною роботою ("hand-made"), що підвищує цінність продукту в очах споживача. Стиль та методи стилізації у графічному дизайні є засобами візуальної мови, що транслюють цінності бренду.

Висновок. Стиль у графічному дизайні виступає інструментом ідентифікації. В умовах глобалізації зростає попит на дизайн з «національним обличчям». Сучасна стилізація не копіює архаїчні форми, а переосмислює їх. Формалізація дозволяє спростити складні етнічні візерунки до рівня сучасних логотипів та патернів, зберігаючи їхню змістову наповненість, а використання культурних метафор та асоціацій надає пакуванню емоційної глибини. Поєднання сучасних графічних прийомів з традиційними культурними кодами дозволяє створити унікальний стиль, який робить продукт конкурентоспроможним та впізнаваним.

Література

1. Стилі графічного дизайну: довідник [ebk]/ С. Денисенко. – К.: НАУ, 2021. – 56 с.
2. Удріс-Бородавко Н. Графічний дизайн з українським обличчям [Текст] / Н. Удріс-Бородавко – К.: ArtHuss 2023 рік – 206с.
3. Крвавич, Д. Українське мистецтво: навч. посіб. для ВНЗ [pbk] / Д. Крвавич [та ін]; - Л.: Світ, Ч. 3. - 2005. - 268 с.
4. Войтович В. Українська міфологія [pbk] / В. Войтович. – К.: Либідь, 2002, 662с.

Роль графічного дизайну у пізнавальній діяльності. як дизайн навчає нас думати

Вікторія Бишовець, Сергій Кадомський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасному світі, перенасиченому інформацією, графічний дизайн перестає бути лише естетичним оформленням і перетворюється на ключовий інструмент пізнання. Візуалізація даних, структурування контенту та використання графічних метафор допомагають людському мозку швидше засвоювати нові знання. Актуальність теми полягає у дослідженні того, як саме візуальні образи впливають на когнітивні процеси та ефективність навчання.

Матеріали і методи. Роботу виконано на основі аналізу книги Adams Sean «Як дизайн спонукає нас думати, відчувати, діяти». Використано методи порівняльного аналізу для вивчення впливу візуальних комунікацій на засвоєння інформації.

Результати і обговорення. Роль візуалізації в освітньому процесі неможливо переоцінити, оскільки понад 80% інформації людина отримує через зір. Графічний дизайн виконує функцію «когнітивного фільтра», який відсіює зайве та акцентує увагу на головному. **По-перше**, дизайн знижує когнітивне навантаження. Складні процеси або статистичні дані, представлені у вигляді суцільного тексту, вимагають значних зусиль для аналізу. Перетворення цих даних на інфографіку дозволяє мозку миттєво зчитати патерни та взаємозв'язки.

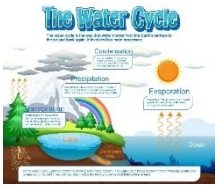


Рис. 1. Приклад інфографіки, що пояснює складний природний процес через спрощені візуальні образи.

По-друге, дизайн використовує візуальні метафори та аналогії. Абстрактні поняття стають зрозумілими, коли вони прив'язані до знайомих візуальних кодів. Наприклад, використання іконки «лампочки» для позначення ідеї або «шестерні» для позначення налаштувань є універсальною мовою, яка не потребує перекладу. **По-третє**, колір та композиція слугують навігаторами мислення. Виділення ключових термінів жирним шрифтом або кольором створює «якір» для пам'яті. Це допомагає студенту структурувати знання, створюючи в уяві ментальну карту матеріалу. Яскравим прикладом того, як дизайн навчає нас діяти та думати без слів, є інструкції до конструкторів LEGO або меблів IKEA.

Іншим прикладом є інтерфейси навчальних додатків (наприклад, Duolingo). Використання прогрес-балів (шкал заповнення) візуалізує поняття «прогрес». Коли ми бачимо, як заповнюється форма, наш мозок отримує сигнал про завершеність дії, що стимулює дофамінову систему та заохочує навчання.

Висновок. Графічний дизайн є невід'ємною частиною ефективної пізнавальної діяльності. Візуалізація прискорює сприйняття інформації, покращує запам'ятовування через асоціативні ряди та знижує поріг входження у складні теми. Вміння «читати» візуальну інформацію стає такою ж важливою навичкою у XXI столітті, як і звичайна грамотність. Дизайн не просто ілюструє матеріал, а формує алгоритми мислення; візуалізація здатна подолати мовні бар'єри та навчити виконувати складні інженерні завдання; дизайн навчає нас думати структуровано, робить складне сприйняття – простим, хаотичне – впорядкованим, абстрактне – конкретним.

Література

1. Adams Sean. How Design Makes Us Think and Feel and Do Things. Published in agreement with The Bright Press, 2021. // Адамс, Шон. Як дизайн спонукає нас думати, відчувати, діяти – К.: ArtHuss, 2022. – 255 с.

Психологічні можливості візуальної маніпуляції свідомістю

Вікторія Бишовець, Сергій Кадомський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасний графічний дизайн пакування виходить за межі естетичного оформлення товару і перетворюється на інструмент прихованого впливу на підсвідомість споживача. Фахівці галузі використовують психологічні акценти для керування увагою та стимулювання прийняття рішень. Актуальність теми полягає у необхідності аналізу механізмів маніпуляції свідомістю, які активно інтегруються у візуальне середовище для збільшення продажів.

Матеріали і методи. Дослідження ґрунтується на концепції емоційного дизайну Д. Нормана та працях з психології впливу Г. Почепцова. У роботі застосовано методи порівняльного аналізу для виявлення візуальних тригерів, що впливають на поведінкові реакції покупців.

Результати і обговорення. Дизайнери використовують знання психології для створення візуальних якорів, які оминають логічний аналіз і звертаються безпосередньо до емоцій. Згідно з теорією емоційного дизайну, найважливішим для пакування є інстинктивний рівень сприйняття, який формує враження за частки секунди. Ключовим інструментом впливу на цьому етапі виступає колористика, оскільки емоційна реакція на колір є фізіологічною. Червоний та жовтий кольори здатні пришвидшувати серцебиття та викликати апетит, тому вони домінують у сегменті швидкого харчування. Холодні відтінки синього та зеленого асоціюються з безпекою та надійністю, що робить їх стандартом для фармацевтики та води.

Аналіз ринку дозволяє стверджувати, що межа між маркетинговим переконанням та психологічною маніпуляцією у дизайні майже стерта. Дизайнери свідомо використовують когнітивні помилки людського мозку для досягнення комерційних цілей. Яскравим прикладом є візуальна маніпуляція з об'ємом через форму пакування. Високі та вузькі банки формату sleeve сприймаються оком як більші за об'ємом порівняно з низькими та широкими аналогами, хоча їхня місткість є ідентичною. Це явище базується на особливості сприйняття вертикальних ліній, які здаються довшими за горизонтальні. Показовим прикладом є штучна «преміалізація» товару за допомогою мінімалізму. Використання глибокого чорного кольору, золотого тиснення та значного вільного простору навколо об'єкта підвищує суб'єктивну вартість продукту в очах споживача. Звичайна плитка шоколаду в лаконічній чорній упаковці здається смачнішою та якіснішою, ніж аналогічний продукт у різнокольоровій обгортці. Поширеним методом маніпуляції є мімікрія під натуральність. Використання фактур крафтового паперу, матових поверхонь та недбалих рукописних шрифтів створює ілюзію екологічності. Цей прийом експлуатує соціальний стереотип про те, що природний вигляд автоматично означає користь для здоров'я, навіть якщо продукт виготовлено промисловим способом. Також варто відзначити прийом створення ілюзії свіжості. Графічне зображення крапель води або конденсату на етикетках напоїв діє як потужний фізіологічний тригер. Цей візуальний образ викликає у споживача відчуття спраги та очікування прохолоди, що значно підвищує ймовірність імпульсивної покупки.

Висновок. Розуміння механізмів сприйняття та емоційного інтелекту дозволяє ефективно керувати вибором людини. Успішне пакування сприяє збільшенню покупок на підсвідомому рівні.

Література

1. Норман Д. Емоційний дизайн: Чому ми любимо речі довкола нас – К.: ArtHuss, 2019. – 304 с.
2. Почепцов, Г. Токсичний інфропростір. Як зберегти ясність мислення – Х.: Віват, 2022. - 381 с.

Візуальний дизайн оточуючого середовища

Ніна Василенко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ Графічний дизайн (ГД) є невід'ємним компонентом сучасного середовища, що виходить далеко за межі друкованої продукції чи екранів. Він формує візуальний ландшафт міст, інтер'єрів та громадських просторів, перетворюючи хаотичний потік інформації на впорядковану екосистему. Роль ГД полягає у створенні комфортного, безпечного та естетично цілісного простору, який визначає якість взаємодії людини з оточенням.

Матеріали і методи. Дослідження базується на аналізі принципів середовищного дизайну, теорії візуальної екології та систем орієнтування (wayfinding). Використано методи системного спостереження за міською навігацією, архітектурною графікою та дизайном публічних просторів.

Результати і обговорення. Формування середовища засобами ГД реалізується через кілька ключових функцій:

Навігаційна та комунікаційна стратегія. Системи вказівок, піктограм та табличок структурують простір, допомагаючи людині орієнтуватися в складних локаціях (аеропорти, ТРЦ, парки). Це знижує стрес і підвищує мобільність населення.

Візуальна ідентифікація місця (Placemaking). Дизайн створює унікальне «обличчя» території. Використання специфічних шрифтів, локальної символіки та колірних кодів формує відчуття ідентичності та приналежності до певної громади чи місця.

Естетична організація та гармонізація. ГД допомагає мінімізувати візуальний шум шляхом уніфікації рекламних носіїв та вивісок. Впорядкована графіка робить середовище візуально «чистішим» та приємнішим для перебування.

Інформаційне збагачення. Мурали, інфостенди та суперграфіка на фасадах будівель перетворюють утилітарні об'єкти на освітні чи мистецькі зони, насичуючи простір новими смислами.

Висновок. Психологічні акценти у середовищному дизайні безпосередньо впливають на психоемоційний стан людини:

Формування відчуття безпеки: чітка, логічна навігація та м'яке освітлення графічних елементів дають людині відчуття контролю над ситуацією, запобігаючи дезорієнтації.Стимулювання соціальної активності: яскраві візуальні домінанти в зонах відпочинку (наприклад, кольорові зони на площі) спонукають людей до взаємодії та спілкування. Корекція настрою (Колірна психологія): використання спокійних природних кольорів у медичних закладах або динамічних відтінків у спортивних хабах програмує відповідний стан психіки.

Когнітивний комфорт: застосування інтуїтивно зрозумілих піктограм (універсальна мова) дозволяє мозку швидше обробляти інформацію, зменшуючи ментальну втому в умовах великого міста.

Отже, графічний дизайн через психологічні акценти виступає інструментом гуманізації середовища, роблячи його зручним та емоційно комфортним для кожної людини.

Література

1. Калверт А. Написи в місті: Навігація, дизайн та ідентичність / А. Калверт. – К. : Артбук, 2020. – 212 с.
2. Gibson D. The Wayfinding Handbook: Information Design for Real-World Environments / David Gibson. – Princeton Architectural Press, 2009. – 152 p. // 3. Гібсон Д. Довідник з орієнтування: Інформаційний дизайн для реальних середовищ

Візуальні аспекти реклами. візуальний супровід реклами

Ніна Василенко, Сергій Кадомський

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У системі сучасного маркетингу графічний дизайн (ГД) є ключовим інструментом рекламного супроводу. Він не лише візуалізує бренд, а й створює стратегічну комунікацію, спрямовану на стимулювання попиту. Рекламний аспект ГД полягає в синтезі художньої виразності та прагматичної мети – конвертації глядача у споживача через вибудований ланцюжок візуальних образів.

Матеріали і методи. Дослідження базується на аналізі маркетингових моделей сприйняття (AIDA), теорії масових комунікацій та композиційних засад рекламного макета. Використано методи системного аналізу візуальних каналів просування (зовнішня реклама, POS-матеріали, digital-контент).

Результати і обговорення. Рекламний супровід візуальних комунікацій реалізується через такі функціональні елементи ГД:

Створення візуальної ідентичності. Дизайн забезпечує цілісність бренду на всіх носіях. Уніфікація кольорів, шрифтів та графічних констант дозволяє миттєво ідентифікувати продукт у рекламному шумі.

Сторітелінг через образ. Рекламний дизайн оперує метафорами, які за лічені секунди розповідають історію бренду. Візуальний супровід робить складні рекламні повідомлення доступними та емоційно привабливими.

Адаптивність комунікацій. Сучасний ГД забезпечує гнучкість рекламного супроводу, підлаштовуючи візуальну мову під різні платформи (від масштабних білбордів до іконок у соціальних мережах) без втрати впізнаваності.

Висновок. Психологічні акценти є «двигуном» рекламного дизайну, оскільки вони відповідають за ефективність впливу на цільову аудиторію. Їхня роль полягає в наступному:

Захоплення уваги (Stopping power): Використання колірних та масштабних контрастів створює візуальний подразник, який виокремлює рекламу серед конкурентів.

Формування підсвідомих асоціацій: Колірна психологія та типографіка транслюють цінності бренду (наприклад, золото та мінімалізм – для преміум-сегмента, яскраві неонові кольори – для інновацій).

Створення емоційного відгуку: Акценти на образах, що викликають емпатію, радість або відчуття безпеки, знижують раціональний бар'єр споживача.

Стимулювання дії (CTA): Психологічно обґрунтоване виділення заклику до дії (кольорі, формі, розташуванні) завершує рекламний цикл, спонукаючи до покупки чи реєстрації.

Таким чином, психологічні акценти перетворюють статичне зображення на активний комунікаційний інструмент, що безпосередньо керує споживчою поведінкою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Огілві Д. Огілві про рекламу / Д. Огілві; пер. з анг. - К.: Наш Формат, 2019. - 232 с.
2. Прищенко С. Рекламна графіка: від ідеї до втілення / С. Прищенко. - К.: Кондор, 2018. - 196 с.
3. Airey D. Logo Design Love: A Guide to Creating Iconic Brand Identities / D. Airey. – New Riders, 2014. – 240 p.

Парадигми типографіки, як основа графічного оформлення пакування

Ніна Василенко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ У сучасному графічному дизайні пакування типографіка перестала бути лише засобом передачі текстової інформації, перетворившись на центральний композиційний елемент. Парадигми типографіки – від класичної функціональності до деконструктивізму формують візуальну ідентичність бренду та визначають перше враження споживача. Правильно обрана типографічна стратегія створює асоціації, що закарбовуються у пам'яті, забезпечуючи конкурентну впізнаваність продукту.

Матеріали і методи. Дослідження базується на аналізі сучасних методів візуальної комунікації, системному підході до проектування упаковки та психології сприйняття шрифтових гарнітур. Використано порівняльний аналіз класичних (антиква, гротеск) та акцидентних шрифтів у контексті їхнього впливу на емоційний стан споживача.

Результати і обговорення. Аналіз засвідчує, що типографіка в дизайні пакування функціонує як складна знакова система, де шрифт є головним носієм візуального коду. В ході дослідження виявлено такі ключові аспекти:

Формування візуальної домінанти. Типографічна парадигма визначає «точку входу» споживача. Використання акцидентних шрифтів великих кеглів дозволяє перетворити назву продукту на самодостатній графічний об’єкт. Це створює стійкий візуальний образ, який швидко зчитується, що є критичним в умовах конкуренції.

Стилістична відповідність та емоційний вплив. Кожна шрифтова гарнітура несе певне психологічне забарвлення. Класична антиква з її вираженими зарубками транслює ідеї традицій, якості та експертності. Натомість гротески (рубані шрифти) формують образ сучасності, відкритості та функціональності. Вдало підібрана шрифтова пара (наприклад, поєднання антикви для заголовка та гротеску для технічного тексту) створює внутрішній динамізм композиції.

Типографічна ієрархія як інструмент керування увагою. Ефективний розподіл текстових масивів дозволяє структурувати інформацію: від емоційного заклику до раціональних характеристик. Використання різної насиченості (Light, Regular, Bold) інтерліньяжу допомагає роблити пакування зрозумілим і зручним для сприйняття.

Колірно-шрифтова синестезія. Колір у поєднанні з його формою підсилює смислове навантаження. Золоте тиснення на класичній гарнітурі асоціюється з преміальним сегментом, тоді як яскраві «кислотні» кольори орієнтовані на молодіжні бренди.

Типографіка як ілюстрація. Сучасна парадигма дизайну часто відмовляється від фотореалістичних зображень на користь «шрифтового пакування», де форма літер імітує властивості продукту, що перетворює текст на повноцінний художній образ

Висновок. Парадигми типографіки є фундаментальною композиційною основою графічного оформлення пакування. Системне використання шрифтових ієрархій, психологічного впливу гарнітур та авторської стилістики дозволяє трансформувати упаковку з утилітарного контейнера на потужний інструмент візуальної комунікації. Типографіка забезпечує баланс між художньою виразністю бренду та інформаційною доступністю продукту, що є визначальним фактором комерційного успіху.

Література

1. Bringhurst R. The Elements of Typographic Style. Hartley & Marks, Publishers, 2004. - 352 p.
2. Дизайн систем візуальної інформації / О. Чемакіна. – Херсон: ОЛДІ-+, 2019. – 199 с.

Роль графічного дизайну у пізнавальній діяльності

Ніна Василенко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасну епоху інформаційного перенасичення графічний дизайн виходить за межі суто естетичної функції, стаючи фундаментом когнітивного розвитку. Він виступає інтелектуальним посередником між складним масивом даних та людською свідомістю. Дизайн не просто «прикрашає» інформацію, він упорядковує хаос, задає алгоритми сприйняття та навчає нас аналізувати світ через візуальні образи, що є ключовим аспектом сучасної пізнавальної діяльності.

Матеріали і методи. Дослідження базується на аналізі когнітивної психології (зокрема теорії подвійного кодування А. Пайвіо) та принципів візуального мислення. Використано методи системного аналізу графічних структур, що застосовуються в інфографіці, освітніх інтерфейсах та навігаційних системах, а також порівняльний аналіз вербального та візуального способів подачі навчального матеріалу.

Результати і обговорення. Візуалізація функціонує як когнітивний посередник, який не просто передає дані, а переформатовує їх. Основними аспектами цього процесу є:

Навігація увагою та смислова ієрархія. За допомогою акцентів, контрасту кольорів та типографічної ваги дизайн «веде» думку глядача від загального до часткового. Це розвиває навичку миттєвої сепарації пріоритетної інформації від другорядного «білого шуму», що є основою критичного аналізу. Візуальна ієрархія дозволяє менше витрачати зусиль на усвідомлення структури документа, фокусуючись на змісті.

Візуальна метафора як інструмент розуміння. Дизайн перекладає абстрактні, складні для розуміння концепти на мову конкретних візуальних символів. Використання піктограм та схем активує асоціативні зв’язки, що дозволяє швидше будувати ментальні моделі складних систем. Це робить дизайн незамінним у вивченні явищ, які не мають прямого фізичного втілення (алгоритми, соціальні зв'язки).

Структурування досвіду та логічне моделювання. Регулярна взаємодія з логічно побудованими інтерфейсами та макетами привчає мозок до впорядкованого мислення. Користувач підсвідомо шукає логіку в розміщенні елементів, що проектується на загальний спосіб обробки будь-якої життєвої інформації. Дизайн навчає шукати патерни (шаблони) там, де вони не очевидні.

Зниження когнітивного навантаження. Згідно з теорією мультимедійного навчання, мозок краще засвоює інформацію, коли вербальні та візуальні канали працюють синхронно. Якісний дизайн звільняє ресурси робочої пам'яті від зайвої роботи, дозволяючи зосередитися на розв'язанні творчих та логічних завдань. Таким чином, дизайн стає інструментом інтелектуальної економії.

Висновок. Візуалізація в освітньому процесі відіграє роль когнітивного моста. Вона не лише прискорює сприйняття (до 60 000 разів швидше за текст), а й забезпечує глибину розуміння через наочність. Візуалізація дозволяє «бачити» логічні помилки, виявляти приховані закономірності та робити невидимі процеси доступними для вивчення. Отже, графічний дизайн є методологією пізнання, яка розвиває візуальну грамотність і навчає людину думати структурно.

Література

1. Маєр Р. Мультимедійне навчання: принципи та практичні рекомендації / Р. Маєр. – К.: Видавництво, 2014. – 320 с.
2. Тюфтяк С. В. Графічний дизайн як засіб формування візуальної культури особистості. – К.: Науковий світ, 2021. – 186 с.
3. Tufte E. Envisioning Information / Edward Tufte. – Graphics Press, 1990. – 126 p.
4. Paivio A. Mental Representations: A Dual Coding Approach / A.Paivio. - Oxford University, 1990. - 336 p.

Роль стилю в графічному дизайні

Тетяна Вересоцька
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Стиль у графічному дизайні є одним із ключових чинників візуальної комунікації, оскільки саме він формує цілісне сприйняття інформації, визначає характер повідомлення та впливає на емоційну реакцію аудиторії. Завдяки стилю дизайн набуває впізнаваності та здатності ефективно передавати ідеї.

Матеріали і методи. У дослідженні використано методи візуального аналізу та порівняння графічних робіт у різних стилістичних напрямах – від мінімалізму й швейцарського стилю до ретро та експериментального дизайну. Проаналізовано приклади айдентики, рекламної продукції та цифрових інтерфейсів.

Результати і обговорення. У ході дослідження встановлено, що стиль у графічному дизайні виконує низку важливих функцій.

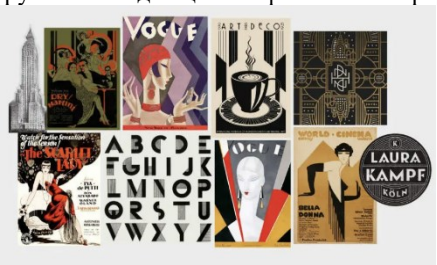
Комунікативна функція стилю полягає у швидкій передачі ідеї та настрою повідомлення. Вибір стилістичних засобів – кольорової гами, композиції, типографіки та графічних елементів – визначає, як саме аудиторія інтерпретує візуальну інформацію.

Ідентифікаційна функція стилю забезпечує впізнаваність бренду або автора. Послідовне використання стилістичних рішень формує візуальну єдність та сприяє закріпленню образу в свідомості споживача.

Емоційно-естетична функція реалізується через здатність стилю викликати певні почуття та асоціації. Наприклад, мінімалістичний стиль асоціюється з сучасністю та функціональністю, тоді як декоративні стилі можуть створювати відчуття унікальності або ностальгії.

Адаптивна функція стилю полягає в його відповідності контексту використання та цільовій аудиторії. Стилістичні рішення повинні враховувати культурні, соціальні та вікові особливості споживачів, а також специфіку середовища, у якому дизайн буде представлений.

Отримані результати свідчать, що стиль є не лише естетичною категорією, а й важливим інструментом підвищення ефективності графічного дизайну.



Висновки. Стиль відіграє визначальну роль у графічному дизайні, поєднуючи естетичні та функціональні аспекти в єдину систему. Від обґрунтованого вибору стилю залежить зрозумілість візуального повідомлення, емоційне сприйняття та рівень довіри аудиторії.

Комплексний аналіз показав, що стилістичні рішення мають відповідати цілям проєкту, характеристикам цільової аудиторії та сучасним тенденціям дизайну. Раціональне використання стилю підвищує якість графічної продукції та сприяє формуванню цілісного візуального образу.

Література.

1. https://newmedia.ua/interesting-know-uk/styli-v-hrafichnomu-dyzayni-vydy-ta-pryklady-chastyna-1/ 2. https://romasheva.com/uk/2024/styles-in-graphic-design

Фурошики як елемент візуальної культури та дизайну пакування

Тетяна Вересоцька, Сергій Кадомський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Фурошики є традиційним японським способом пакування предметів за допомогою квадратної тканини, що поєднує функціональність, естетику та культурну символіку. У сучасному дизайні фурошики розглядаються не лише як елемент національної спадщини, а й як актуальний приклад екологічного та багаторазового пакування.

Матеріали і методи. У дослідженні застосовано методи історико-культурного аналізу та візуального порівняння. Розглянуто традиційні та сучасні зразки фурошики, а також приклади їх використання в дизайні пакування, сувенірній продукції та брендингу.

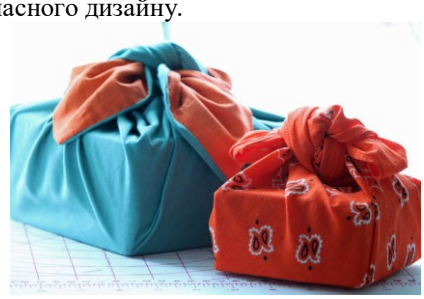
Результати і обговорення. У ході дослідження встановлено, що фурошики виконують низку важливих функцій у візуальній та комунікаційній системі пакування. Функціональна роль фурошики полягає в універсальності використання: одна тканина може адаптуватися до предметів різної форми й розміру завдяки різним способам зав'язування. Це забезпечує практичність та зручність у повсякденному застосуванні.

Естетична функція реалізується через орнаменти, кольорові поєднання та композиційні рішення, що мають символічне значення. Візуальне оформлення фурошики впливає на емоційне сприйняття подарунка та підсилює його цінність.

Екологічна функція є однією з ключових у сучасному контексті. Фурошики як багаторазове пакування сприяє зменшенню використання одноразових матеріалів і відповідає принципам сталого розвитку та екодизайну.

Комунікативна функція полягає у передачі культурної ідентичності та філософії поваги до речей і навколишнього середовища. Використання фурошики у сучасному дизайні підкреслює зв'язок традицій і сучасних дизайнерських тенденцій.

Отримані результати підтверджують, що фурошики є ефективним прикладом поєднання культурної спадщини та сучасного дизайну.



Висновки. Фурошики відіграють важливу роль у формуванні екологічно орієнтованого та естетично цілісного підходу до пакування. Їх використання поєднує функціональність, візуальну привабливість і культурну символіку. Комплексний аналіз показав, що принципи фурошики можуть бути успішно адаптовані в сучасному графічному та пакувальному дизайні, сприяючи розвитку екологічної свідомості та формуванню позитивного іміджу брендів.

Література.

1. https://florida.com.ua/stati/furoshiki-upakovka-podarka-v-tkan

Способи візуалізації інформації

Михайло Лаврик, Сергій Кадомський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

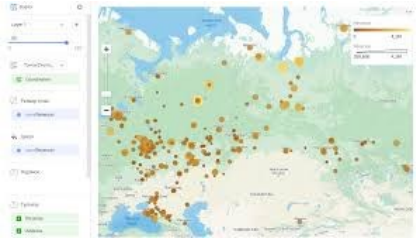
Вступ Існує багато способів візуалізації інформації, метою яких є спрощення сприйняття даних, їх структурування та швидке передавання змісту.

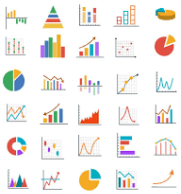
Результати та обговорення Один із найпоширеніших способів – це використання графіків і діаграм, які дозволяють наочно показати співвідношення, динаміку змін або порівняння величин. Лінійні графіки зазвичай застосовують для відображення процесів у часі, стовпчикові – для порівняння показників, а кругові – для демонстрації часток і пропорцій.

Важливим способом є інфографіка, яка поєднує текст, іконки, схеми та кольори в єдину композицію. Вона допомагає подати складну інформацію у зрозумілому та привабливому вигляді, скорочуючи обсяг тексту й акцентуючи увагу на ключових моментах. Інфографіка широко використовується в освіті, медіа, маркетингу та дизайні.

Ще одним способом візуалізації є схеми та діаграми зв’язків, які показують структуру, ієрархію або взаємозалежність елементів. До них належать блок-схеми, ментальні карти, організаційні діаграми, які допомагають систематизувати інформацію та побачити логіку процесів.

Карти та просторові візуалізації застосовуються для відображення географічних даних або розташування об’єктів у просторі. Вони дозволяють зрозуміти масштаб, напрямки, відстані та взаємне розміщення елементів, що особливо важливо в аналітиці, логістиці та дослідженнях.





Також важливу роль відіграють таблиці, які, хоча й здаються менш наочними, все ж залишаються ефективним способом візуалізації структурованої інформації, особливо коли потрібна точність і можливість швидкого порівняння числових даних.

У дизайні активно використовуються іконки, піктограми та умовні знаки, які дозволяють передавати зміст без слів або з мінімальним текстовим супроводом. Вони пришвидшують сприйняття інформації та зменшують навантаження на читача.

Окремо варто згадати типографічну візуалізацію, коли сама форма тексту, розмір шрифту, колір і розташування слів стають інструментами передачі інформації. Такі прийоми часто використовуються в плакатах, пакуванні та цифрових інтерфейсах.

Висновки. Таким чином, способи візуалізації інформації можуть бути різними, але всі вони мають спільну мету – зробити дані зрозумілими, наочними та доступними для швидкого сприйняття.

Геометрична фігура як засіб вираження метафоричного смислу

Михайло Мельничук, Сергій Кадомський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Геометрична фігура – це ідеалізована модель реальності. У повсякденному житті ми рідко зустрічаємо ідеальні кола чи квадрати, тому поява таких фігур у мистецтві або символіці одразу сприймається як певний «код». Метафоричність геометрії базується на здатності людського мозку асоціювати візуальні властивості фігури (стійкість, замкненість, гостроту) з абстрактними поняттями (надійністю, нескінченністю, агресією).

Результати та обговорення. Семантика основних фігур: **к**ожна базова фігура має свій усталений метафоричний «шлейф», який використовується в культурі протягом тисячоліть.

1. Коло: Метафора досконалості та циклічності

Коло є найбільш духовною та м'якою фігурою. Відсутність кутів символізує відсутність конфлікту.

- Смислові значення: Вічність, єдність, цілісність, космос, жіноче начало, безпека.
- Приклади: Німб у релігійному живописі (святість), обручка (нескінченна любов), мандала в східних практиках (гармонія всесвіту).

2. Квадрат: Метафора стабільності та порядку

На відміну від кола, квадрат – це фігура «рукотворна», що символізує раціональність та земний порядок.

- Смислові значення: Чесність, закон, матеріальний світ, обмеження, стабільність, чоловіче начало (в деяких традиціях).
- Приклади: «Чорний квадрат» Казимира Малевича як метафора «нуля форм» або кінцевої точки мистецтва; чотири сторони світу як символ земного простору.

3. Трикутник: Метафора динаміки та ієрархії

Значення трикутника критично залежить від його орієнтації в просторі.

- Вершиною вгору: Прагнення до божественного, вогонь, активність, зростання.
- Вершиною вниз: Вода, пасивність, родючість.
- Смислові значення: Тріада (Минуле-Теперішнє-Майбутнє), ієрархічна структура влади, небезпека (гострі кути).

4. Лінія та крапка: Першооснови метафоричного мислення

- Вертикаль метафорично пов'язується з піднесенням, життям, зв'язком між небом та землею.
- Горизонталь символізує спокій, смерть, земну поверхню.
- Зигзаг – це енергія, тривога, електричний імпульс.

Висновки. Геометрична фігура як засіб вираження метафоричного смислу є унікальним інструментом, що дозволяє лаконічно передати складні концепції. Вона перетворює математичну абстракцію на емоційний та інтелектуальний образ. Розуміння цієї «геометрії смислів» допомагає не лише глибше аналізувати твори мистецтва, а й свідомо будувати візуальні комунікації в сучасному світі, де лаконічність форми часто цінується вище за багатослівність.

Тренди в дизайні пакування

Михайло Мельничук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Дизайн пакування сьогодні розвивається під впливом трьох основних сил: **екологічної свідомості**, **цифрової трансформації** та **прагнення споживача до автентичності**. Люди більше не купують просто продукт – вони купують «досвід розпакування» (unboxing experience) та відчуття причетності до бренду, який поділяє їхні погляди. Головне завдання сучасного дизайнера – зробити пакування не лише красивим, а й етичним та інтерактивним.

Основна частина. До ключових трендів у дизайні паковання 2025 відносять:

1. Еко-мінімалізм та сталий розвиток

‘брендів, які використовують зайвий пластик.

- Мономатеріали**:** Використання одного типу матеріалу (наприклад, тільки гофрокартон), що полегшує переробку.
- Біорозкладність**:** Пакування з грибного міцелію, водоростей або кукурудзяного крохмалю.
- Багаторазовість**:** Дизайн, що спонукає залишити коробку чи банку для подальшого використання в побуті (reusable packaging).

2. «Живий» дизайн: Недбалість та каракулі

У світі ідеальних AI-зображень люди почали сумувати за людським дотиком.

- Стилістика**:** Ручні начерки, «шорсткі» лінії, імітація маркерних підписів або ліногравюри.
- Метафора**:** Це створює відчуття крафтовості, близькості та автентичності, ніби цей товар зроблений людиною для людини.

3. Розумне пакування (Phygital)

Пакування стає порталом у цифровий світ за допомогою технологій:

- QR-коди та NFC: Дають доступ до історії створення продукту, інструкцій або AR-ігор (доповнена реальність).
- Інтерактивність**:** Пакування, що змінює колір залежно від температури або терміну придатності.

4. Геометричні вирізи та прозорість

Чесність стає візуальною. Бренди перестають ховати продукт за глянцевими фотографіями.

- Вирізи**:** Креативні форми вирізів (у вигляді крапель, листя, інгредієнтів), що дозволяють побачити текстуру товару.
- Прозорі матеріали: Скляні або інноваційні прозорі еко-плівки, що підкреслюють натуральність.

5. Дофаміновий дизайн: Яскраві кольори та градієнти

Як антитеза до сірого мінімалізму, популярності набуває стиль, що викликає радість.

- Палітра**:** Фруктові відтінки (лайма, кавун, чорника) та складні неонові градієнти.
- Шрифти**:** Виразні, масивні літери, що самі по собі стають декоративним елементом.

Висновок. Тренди в дизайні пакування 2025 року демонструють перехід від простої естетики до функціональної етики. Пакування майбутнього – це баланс між яскравим візуальним образом, що виділяє товар на полиці, та глибокою повагою до довкілля. Перемагатимуть ті бренди, які зможуть через пакування розповісти чесну історію та запропонувати споживачеві зручне, безпечне і технологічне рішення.

Специфіка рекламного графічного дизайну

Дмитро Самощенко, Кадомський Сергій
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Рекламний графічний дизайн – це не просто створення «красивої картинки», а стратегічний інструмент комунікації між брендом і споживачем. Його головна мета не лише привернути увагу, а й спонукати до конкретної дії: купівлі, реєстрації або лояльності. У сучасному перенасиченому інформаційному просторі специфіка цього виду дизайну полягає в поєднанні психології, маркетингу та візуального мистецтва.

Результати та обговорення. На відміну від чистого мистецтва, рекламний дизайн завжди має чітке завдання та орієнтацію на конкретну цільову аудиторію (ЦА). До ключових особливостей рекламного дизайну відносять: функціональність. лаконічність та емоційний відгук. Дизайн апелює до почуттів (радість, страх, комфорт, престиж), формуючи підсвідомий зв'язок між споживачем і продуктом.

Дизайнер використовує низку інструментів впливу для керування увагою глядача: колірна психологія (кольори викликають конкретні асоціації); типографіка (шрифт – це «голос» бренду); композиція та ієрархія. Рекламний макет зазвичай будується за принципом Z- або F-патерну руху погляду. Ключові елементи мають чітку ієрархію: оффер – що пропонується; візуальний образ – головний акцент; CTA (Call to Action) – заклик до дії («Купити», «Замовити», …).

Процес створення професійного рекламного дизайну включає такі етапи: Брифінг – вивчення бізнес-завдань та цільової аудиторії.; Аналіз конкурентів – запобігання повторенню візуальних рішень.; Пошук ідеї (метафори) – формування креативної концепції.; Ескізування та реалізація – робота в графічних редакторах (Adobe Photoshop, Illustrator, Figma).; Тестування – перевірка сприйняття дизайну на різних пристроях і в реальному середовищі.

Рекламний дизайн активно впливає на підсвідомість людини. Для стимулювання швидкого прийняття рішень застосовуються такі тригери: Принцип дефіциту та терміновості. «Тільки сьогодні» або «Залишилося 2 одиниці», що активізує імпульсивну покупку; Соціальний доказ. Використання елементів довіри: логотипів партнерів, рейтингів, відгуків клієнтів; Антропоморфізм та напрямок погляду. Якщо на макеті зображена людина, її погляд спрямовують на товар або кнопку CTA, що підсвідомо скеровує увагу глядача.

Сучасний рекламний дизайнер працює з різними форматами: растрової та векторної графіки (ретуш, колаж, робота з текстурами, розробка логотипів та ілюстрацій; motion-дизайн (After Effects) – відеореклама з високим рівнем залучення; UX/UI-підхід – створення лендингів з мінімальним когнітивним навантаженням. Рекламний дизайн має відповідати правовим та етичним нормам: дотримання авторського права; виконання вимог законодавства про рекламу; інклюзивність та доступність для людей із порушеннями зору. До специфіки рекламного дизайну відносять ключові принципи: орієнтація на цільову аудиторію, лаконічність, емоційний вплив та ієрархія візуальних елементів. Ефективність рекламного дизайну вимірюється показниками: A/B-тестування – порівняння різних варіантів дизайну; Heatmaps – аналіз зон концентрації уваги користувачів. Оцінювання ефективності через A/B-тестування та eyetracing перетворює дизайн з інтуїтивного мистецтва на вимірюваний інструмент бізнесу.

Висновки Рекламний графічний дизайн є міждисциплінарною сферою, що поєднує естетику, маркетинг, психологію та технології. Рекламний дизайн є складовою айдентики, що сприяє ефективній комунікації зі споживачем та здатності впливати на поведінку цільової аудиторії. Значну роль відіграють психологічні тригери.

Роль взаємодії вербального та візуального мислення в графічному дизайні

Софія Стрельцова, Сергій Кадомський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Графічний дизайн (ГД) як сфера професійної діяльності ґрунтується на поєднанні різних когнітивних процесів, серед яких провідне місце займають вербальне та візуальне мислення. Їхня взаємодія забезпечує створення ефективних візуальних рішень, здатних одночасно передавати інформацію, викликати емоційні реакції та формувати цілісне повідомлення. Вербальне мислення пов'язане з логічним осмисленням, структуризацією та узагальненням інформації, тоді як візуальне – з образним сприйняттям, асоціаціями та просторовими уявленнями. Для ГД важливою є їхня синергія, що дозволяє створювати зрозумілі, емоційно насичені та концептуально виважені продукти. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю глибшого розуміння ролі цих двох типів мислення та механізмів їхнього взаємодії у процесі проектування.

Матеріали і методи. Аналіз наукових і теоретичних джерел, що висвітлюють особливості когнітивних процесів, пов'язаних з творчістю та візуальною комунікацією.

Результати і обговорення. Проведене дослідження показало, що вербальне та візуальне мислення в процесі графічного дизайну взаємодіють у кількох ключових напрямах. Вербальне мислення забезпечує логічну основу та концептуальну структуру проекту. На етапі створення ідеї дизайнер формулює зміст повідомлення, визначає ключові поняття, формує опис майбутнього продукту. Вербальні формулювання допомагають уточнити завдання, визначити цільову аудиторію та виробити загальну концепцію. Візуальне мислення забезпечує образне перетворення вербальної інформації у графічні форми. Воно відповідає за створення композицій, іконографії, колірних рішень та символів, які здатні передати зміст через візуальні образи. Саме тут формується естетична складова та емоційний вплив. Баланс між цими двома типами мислення визначає якість комунікації. Надмірне домінування вербальних елементів призводить до перевантаженості текстом, тоді як надмірне використання образних форм може спричинити втрату змістовності. Гармонійне поєднання сприяє оптимальному відтворенню інформації та підвищує ефективність дизайну. Дослідження засвідчило, що найбільш ефективні дизайнерські рішення виникають **у результаті** постійного діалогу між вербальним і візуальним мисленням. Вербальні поняття уточнюють візуальні образи, а візуальні асоціації збагачують словесні формулювання, сприяючи появі нових творчих ідей.

Висновок. Взаємодія вербального та візуального мислення є фундаментальним чинником у створенні графічних проектів. Вербальне мислення формує концептуальну основу, структуру та зміст, тоді як візуальне забезпечує образну інтерпретацію та естетичне оформлення. Синергія цих процесів дозволяє створювати більш цілісні, логічні та емоційно виразні візуальні комунікації. Гармонійне поєднання словесних і зорових елементів підвищує ефективність передачі інформації, сприяє кращому сприйняттю та допомагає формувати стійкий образ бренду або повідомлення. Взаємодія вербального та візуального мислення є визначальною та становить важливий аспект.

Література

1. https://www.researchgate.net/publication/396428748_EDNIST_VERBALNO-VIZUALNOI_INFORMACII_U_DIZAJNI_DRUKOVANIH_VIDAN
2. https://www.websvit.com/blog/2015/06/27/verbalne-i-vizualne-u-veb-dyzajni/

3. Роль психології в графічному дизайні паковань

Софія Стрельцова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасний ринок характеризується високою конкуренцією та широким вибором товарів, що зумовлює необхідність використання психологічних стратегій у графічному дизайні паковань. Увага споживача формується під впливом візуальних і когнітивних чинників, тому дизайнери активно застосовують принципи психології сприйняття, кольору, форми, мотивації та поведінки покупця. Вивчення цих механізмів дозволяє створювати ефективні паковання, які не лише інформують, а й впливають на емоційні та раціональні рішення споживача.

Матеріали і методи. Аналіз наукових праць з психології сприйняття, кольорознавства та маркетингу.

Результати і обговорення. Психологія кольору в пакуванні. Дизайнери використовують колір як основний емоційний стимул: Теплі кольори (червоний, жовтий) привертають увагу, стимулюють апетит, асоціюються з енергією. Холодні кольори (синій, зелений) викликають почуття довіри, свіжості, стабільності. Контрастні поєднання підсилюють видимість продукту на полиці. Колір впливає на формування першого враження, яке за психологічними даними складається за 0,1–0,3 секунди.

Використання гештальт-принципів. Гештальт-психологія допомагає підсилити структурність та логічність композиції. Зокрема: Принцип фігури й фону – чітке виділення ключових елементів; Принцип близькості – групування інформаційних блоків; Принцип подібності – створення візуальної впізнаваності бренду; Принцип завершеності – формування цілісного образу навіть за мінімалістичних рішень.

Психологія форми та композиції. Форма паковання та графічних елементів формує емоційне сприйняття: Округлі форми асоціюються з безпекою, м’якістю, дружністю. Гострі форми – зі строгістю, технологічністю, динамізмом. Симетрія викликає почуття порядку та стабільності. Асиметрія додає сучасності та динаміки.

Психологія типографіки. Шрифти впливають на довіру до бренду: серіфні шрифти асоціюються з традиційністю та надійністю; sans-serif – із сучасністю й простотою; рукописні шрифти – з індивідуальністю та емоційністю.

Правильний розмір і контрастність забезпечують зручність зчитування та зменшують когнітивне навантаження.

Емоційний брендинг та тригери поведінки. Застосування психологічних стратегій дозволяє формувати емоційний зв’язок зі споживачем:

Використання образів людей, тварин, елементів природи викликає емпатію та довіру.

Соціальні тригери (еко-маркування, “біо”, “handmade”) підсилюють бажання підтримати “правильний” вибір.

Висновок. Знання психології є ключовим інструментом у роботі графічного дизайнера паковань. Правильне застосування кольору, форми, композиції, типографіки та емоційних стратегій дозволяє підвищити впізнаваність бренду, сформувати довіру та стимулювати покупку. Психологічно продумане паковання здатне впливати на підсвідомі механізми прийняття рішень, що робить його ефективним маркетинговим інструментом.

Література.

1. https://eco-science.net/wp-content/uploads/2023/09/09.23._topic_Mykola-M.-Ivanov-Roman-O.-Filipskyi-57-65.pdf
2. https://www.arthuss.com.ua/books-blog/pryntsypy-iz-psykholohiyi-yaki-zastosovuyut-v-hrafichnomu-dyzayni-chastyna-druha

Використання комунікаційних архетипів в графічному дизайні фірмового стилю

Єлизавета Токарева, Сергій Кадомський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ Фірмовий стиль (ФС) є важливим елементом ідентифікації компанії та її комунікації з цільовою аудиторією. Він формує цілісний образ бренду, сприяє його впізнаваності та створює емоційний зв'язок зі споживачем. У сучасному графічному дизайні дедалі частіше використовуються архетипи, які мають глибоке психологічне підґрунтя та базуються на колективному несвідомому людини. Концепція архетипів, розроблена К. Юнгом, активно застосовується у брендингу для створення зрозумілих і стабільних образів. Саме тому дослідження використання комунікаційних архетипів у графічному дизайні фірмового стилю є актуальним і практично значущим.

Матеріали і методи дослідження У процесі дослідження було проаналізовано наукові праці з аналітичної психології, брендингу та графічного дизайну, а також сучасні публікації, присвячені застосуванню архетипів у маркетингових комунікаціях. Додатково було розглянуто фірмові стилі відомих компаній, які чітко демонструють використання архетипів образів. Основними методами дослідження стали теоретичний аналіз, порівняння та узагальнення, що дозволило виявити закономірності використання архетипів у візуальній ідентифікації брендів.

Результати та обговорення Результати дослідження показують, що архетипи використовуються у графічному дизайні фірмового стилю для створення емоційно зрозумілого та послідовного образу бренду. Кожен архетип має характерні риси, які передаються через колірну гаму, форму, типографіку та стилістику графічних елементів. Наприклад, архетип Героя часто реалізується через насичені контрастні кольори, динамічні форми та сильні графічні акценти, що асоціюються з досягненням, силою та впевненістю.

Архетип Мудреця, навпаки, зазвичай проявляється у стриманих кольорах, мінімалістичній графіці та класичних шрифтах, що підкреслюють інтелект, надійність і професіоналізм. Архетип Турботливого реалізується через м'які форми, теплу кольорову палітру та дружню візуальну мову, яка викликає відчуття безпеки та довіри. Таким чином, архетипи допомагають дизайнерам формувати чіткий характер бренду та уникати суперечливих візуальних рішень.

Використання архетипів у фірмовому стилі також сприяє довготривалій впізнаваності бренду. Завдяки стабільності архетипічного образу споживач швидше ідентифікує компанію серед конкурентів і формує емоційний зв'язок з нею. Важливо зазначити, що архетипи не копіюються буквально, а інтерпретуються відповідно до культурного контексту та цільової аудиторії.

Висновки Отже, архетипи є ефективним інструментом у графічному дизайні фірмового стилю, оскільки дозволяють створювати глибокі, емоційно зрозумілі та послідовні образи брендів. Використання архетипічних моделей сприяє підвищенню впізнаваності компанії, формуванню довіри та довготривалих відносин зі споживачами. Застосування архетипів у дизайні фірмового стилю підтверджує тісний зв'язок між психологією та візуальними комунікаціями, що відкриває перспективи для подальших наукових досліджень у цій сфері.

Література

Безручко О. В. "Використання архетипів К. Г. Юнга в сучасних візуальних комунікаціях"
https://journ.knu.ua/nauka1/wp-content/uploads/2025/12/Materialy_Konferentsii.pdf

Психологічні методи маніпулювання, емоційний дизайн, етичні обмеження

Владислав Тимінський, Сергій Кадомський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ: Психологічні методи маніпулювання свідомістю та їх роль у ГД. Емоційний дизайн. Етичні, релігійні, культурні обмеження.

Мета роботи: розкрити різницю між етичним переконанням та маніпуляцією, показати, як емоційний дизайн впливає на досвід користувача й де проходить межа допустимого.

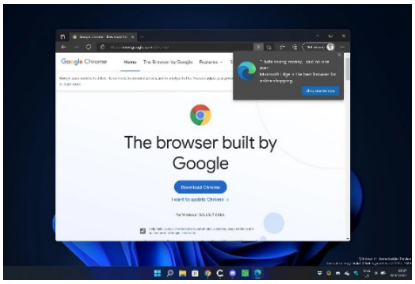
Результати та обговорення Емоційний дизайн описує, як візуальні й інтерактивні рішення викликають емоції, що впливають на те, любимо ми продукт чи уникаємо його. Дон Норман виділяє три рівні емоційного дизайну: вісцеральний (перше чуттєве враження), поведінковий (зручність використання) та рефлексивний (довгострокове ставлення й смисли бренду). Гарний емоційний дизайн узгоджує ці три рівні: інтерфейс приємний візуально, зручний у використанні й резонує з цінностями користувача.

У практиці ГД застосовуються як етичні прийоми впливу, так і маніпулятивні.

Приклади психологічних прийомів:

- Соціальний доказ (відгуки, бейджі, кількість користувачів) – підсилює довіру, але може перетворюватися на маніпуляцію при фейкових даних.
- Дефіцит і терміновість (лічильники часу, обмежені пропозиції) – стимулюють дію, але при фальшивості створюють недовіру.
- Фреймінг і візуальна ієрархія – подання інформації так, щоб «правильний» вибір здавався природним, наприклад, виділення дорожчого, але більш вигідного тарифу.

Окремо виділяють dark patterns – інтерфейсні рішення, які навмисне змушують користувача робити те, чого він не планував (підписка «за замовчуванням», приховані чекбокси, «roach motel», з якого важко вийти). Такі патерни суперечать ролі дизайнера як захисника інтересів користувача й дедалі частіше стають предметом етичної й юридичної критики. Для професійного дизайнера важливо розрізняти: де закінчується допомога користувачу прийняти рішення і починається маніпуляція проти його інтересів.



Рекламний банер який маскується під системне сповіщення браузера

Література:

https://www.interaction-design.org/literature/topics/emotional-
https://darkpatterns.uxp2.com
https://careerfoundry.com/blog/ux-design/dark-patterns-ux/

Особливості дизайну web-сторінок

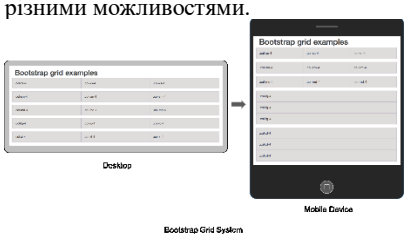
Владислав Тимінський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

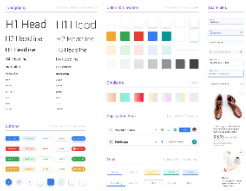
Комп'ютерна графіка стала базовим інструментом графічного дизайнера: від підготовки друкованих матеріалів і пакування до розробки цифрових інтерфейсів і веб-сторінок. Векторні редактори забезпечують точність форми, масштабованість і роботу з фірмовим стилем, тоді як растрові редактори використовують для роботи з фотографією, текстурами й складними ефектами. Ключовими аспектами є розуміння кольорових просторів (RGB/CMYK), типів графіки (вектор/растр), форматів файлів (SVG, PNG, JPG, PDF) та коректної підготовки макетів для друку й екрана.

У веб-дизайні умовно розрізняють UX (досвід користувача) та UI (візуальний інтерфейс): UX відповідає за логіку сценаріїв, структуру й зручність, UI – за вигляд, візуальну ієрархію та взаємодію з елементами. Сучасні підходи вимагають, щоб UX та UI розглядалися разом як частини єдиної дизайн-системи продукту.

Базові принципи UX/UI для веб-сторінок:

– Орієнтація на користувача: проектування від реальних задач і контекстів використання, а не від «красивої картинки».
– Чіткість і простота: мінімізація зайвої інформації та дій, зрозумілі написи на кнопках, передбачувана поведінка елементів.
– Послідовність: однакові патерни, сітка, стилі кнопок і типографіка на всіх екранах, що знижує когнітивне навантаження.
– Зворотний зв'язок: ховери (зміна стану при наведенні курсору), стани натискання, лоадери та повідомлення про помилки/успіх дій.
– Доступність: контрастність, читабельні шрифти, коректна робота з клавіатурою, адаптація для людей з різними можливостями.





Вигляд дизайн системи (UI-kit) на прикладі простого інтернет-магазину

Дизайн веб-сторінок сьогодні базується на адаптивності: макет має коректно працювати на різних десктопах, зберігаючи логіку ієрархії та зручність взаємодії. Важливими є побудова сітки, видимий візуальний маршрут для ока (від заголовка до CTA), оптимізація швидкості завантаження та простота структури контенту.

Актуальні візуальні й функціональні тенденції:

– Мінімалізм і велика типографіка – чисті інтерфейси з акцентом на тексті та головній дії користувача.
– Dark mode та високий контраст – як відповідь на нічний сценарій використання й візуальну втомлюваність.
– Мікровзаємодії та плавна анімація – підсвічування кнопок, анімовані переходи, стани полів, які підказують користувачу, що відбувається.
– Карточні/"bento"-макети, 3D-елементи й ілюстрації – структурований контент із візуальними «якорями» для запам'ятовування бренду.
– Інклюзивний і етичний дизайн – увага до різних груп користувачів, уникнення маніпулятивних патернів (dark patterns), прозорість щодо збору даних.

Література.

1. https://www.figma.com/resource-library/design-basics/
2. https://blog.hubspot.com/marketing/web-design-trends-2017
3. https://www.hostinger.com/tutorials/web-design-trends

13.3.

Technological equipment and computer design technology

13.3.

Технологічне обладнання та комп’ютерні технології проектування

Edible Materials for Rapid Prototyping of Soft Robotic Grippers

Oleh Chentsov, Mykola Yakymchuk
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The increasing demand for manipulators and grippers capable of safely interacting with delicate objects and enabling human–robot collaboration has brought soft robotics to the forefront as a cost-effective and versatile solution. However, the design of such systems is hindered by the complexity of modeling hyperelastic materials, which necessitates extensive physical testing through models for functionality verification. This significantly prolongs the research and development cycle due to the intrinsic properties of commonly used materials.

An analysis of scientific literature, patents, and existing engineering solutions reveals a clear need to accelerate the stage of creating models for functionality verification in the development of soft robotic grippers. In this work, a technical approach is proposed that replaces conventional silicones characterized by long curing times with a gelatin–glycerin composite exhibiting similar mechanical properties in its solidified state.

Materials and methods. The aim of this study was to investigate the mechanical properties, formulation, and processing characteristics of a gelatin-based composite material, as well as to compare it with conventional silicone rubbers. Additionally, the suitability of the material for creating models for functionality verification of soft robotic gripper components was evaluated.

Results and discussion. Castable silicone materials are typically available in two main types: platinum-cured and tin-cured systems. Despite differences in mechanical performance, both types share several drawbacks, including long curing times, high cost, and the inability to repair cured parts. These limitations complicate and slow down the fabrication of models for functionality verification of soft grippers.

In the field of bionics and soft robotics, the development and analysis of compliant gripping systems require the creation of models for functionality verification to evaluate deformation, adaptability, and interaction with delicate objects, adaptability, and interaction with delicate objects. However, conventional materials significantly limit the speed of such iterative design processes.

A method for significantly reducing the time required for modeling and fabrication of such models for functionality verification was developed and experimentally validated.

As an alternative to traditional materials, the following method is proposed: the use of a gelatin/glycerin/water composite with adjustable component ratios. The resulting material demonstrates mechanical behavior comparable to that of castable silicones. Its key advantages include near-instantaneous curing (within minutes), remeltability and reusability of failed or defective models for functionality verification, low cost, wide availability of components, and full biodegradability.

Experimental results showed that the mechanical properties of the composite can be tuned over a broad range depending on composition: Young's modulus (E) from approximately 0.05 to 2 MPa, tensile strength from 0.1 to 1 MPa, and elongation at break from 50% to 400%. Increasing glycerin content reduces stiffness and strength while increasing elasticity, whereas increasing gelatin concentration leads to higher stiffness and strength but lower extensibility.

The relationships between composition and mechanical properties are illustrated in Fig. 1, including dependencies of Young's modulus, elongation, and hardness (Shore scale) on glycerin content. The material behavior can be approximated by the generalized model:

$$E \approx k \cdot C_{gelatin}^2 \cdot (1 - \alpha \cdot C_{glycerin})$$

where E is the elastic modulus, C_gelatin is the mass fraction of gelatin (0–1), C_glycerin is the glycerin fraction, k is an empirical coefficient dependent on gelatin type, water content, and temperature, and α ≈ 1–2 characterizes the softening effect of glycerin.

#	Shore	E (MPa)	Gelatin (%)	Glycerin (%)	Water (%)	Feel
1	00-01	0.02–0.04	5	25	70	fluid gel
2	00-05	0.04–0.08	7	25	68	very soft
3	00-10	0.08–0.12	10	20	70	soft gel
4	00-15	0.12–0.18	12	20	68	holds shape
5	00-20	0.18–0.25	15	18	67	soft rubber
6	00-30	0.25–0.40	18	15	67	elastic
7	00-40	0.40–0.60	22	12	66	firm elastomer
8	00-50	0.60–0.90	25	10	65	soft rubber
9	A05	0.90–1.30	28	8	64	technical elastomer
10	A10	1.30–2.00	30–32	5–7	remainder	firm

Table 1: approximate correspondence of the final composite hardness (Shore scale) to the composition

glycerol	Young's module	relative elongation
0%	~1.5–2 MPa	~50–80%
5%	~0.8–1 MPa	~100–150%
10%	~0.3–0.6 MPa	~200–300%
20%	~0.05–0.2 MPa	~300–400%

Table 2: Dependence of mechanical Properties on the glycerin content in a composition with 10% gelatine.

Fig. 1. Examples of casting molds and finished products

The presented data enable the selection of composite formulations corresponding to specific silicone properties. However, certain limitations must be considered, including limited service life due to drying, the need for controlled degassing to avoid premature solidification, and sensitivity to environmental conditions. At the same time, damaged parts can be repaired through localized heating, which is not possible with conventional silicones.

Conclusions. The proposed technology for manufacturing elements of soft robotic grippers intended for determining functional characteristics has been validated through a series of experiments and demonstrated practical feasibility and reliability.

The developed material is a three-component composite (gelatin, glycerin, and water), where variation of component ratios enables tuning of mechanical properties over a wide range comparable to castable silicones.

The approach significantly reduces fabrication time of elastic components (shells, membranes, and structures of various geometries) from tens of hours to minutes, making it highly suitable for iterative development and early-stage design.

The methodology enables rapid creation of models for functionality verification with low cost, reusability, and biodegradability; however, it is primarily suitable for short-term testing due to material dehydration over time.

References.

1. Sardesai, A.N., Segel, X.M., Baumholtz, M.N. et al. Design and Characterization of Edible Soft Robotic Candy Actuators. MRS Advances 3, 3003–3009 (2018). https://doi.org/10.1557/adv.2018.557
2. Shintake, Jun & Sonar, Harshal & Piskarev, Yegor & Paik, Jamie & Floreano, Dario. (2017). Soft pneumatic gelatin actuator for edible robotics. 6221-6226. 10.1109/IROS.2017.8206525

Engineering approaches to beer clarification in industrial production using hermetic disc-stack separators

Serhii Hrybkov[1], Vitalii Okolita[1], Valentyn Olishevskyi[1], Yevhen Babko[1]
[1]National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. Beer clarification is a critical stage of industrial brewing because the final product quality depends on the efficient removal of yeast and colloidal particles while preserving flavor stability. One of the main engineering problems of this stage is the increase in dissolved oxygen during separation**.**

Materials and methods. The study generalized technological and design factors influencing oxygen pickup during beer clarification in hermetic disc-stack separators. The engineering analysis included the product inlet and outlet arrangement, pressure conditions in the separator circuit, pre-filling procedures, inert gas application, and sealing design of the rotating bowl.

Results and discussion. It was established that traditional open or semi-hermetic separators cannot provide a stable barrier against product aeration during flow and pressure fluctuations. Even a dissolved oxygen increase of 10–20 ppb during clarification negatively affects beer flavor, foam stability, and shelf life. The most effective engineering solutions for industrial beer production include: hermetic bottom feed and axial discharge of product without contact with air; maintenance of excess CO_2/N_2 pressure within 0.3–0.7 bar in the entire circuit; preliminary filling of the bowl and pipelines with deaerated water or beer before start-up; inert gas purging of the system; application of a hermetic mechanical seal in the bowl assembly; and reduction of the hydraulic yeast discharge cycle duration.

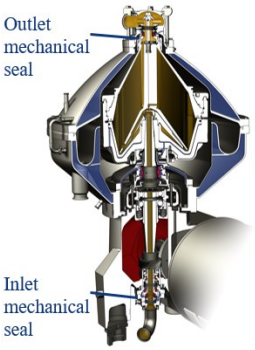


Fig. 1. Disc-stack separator

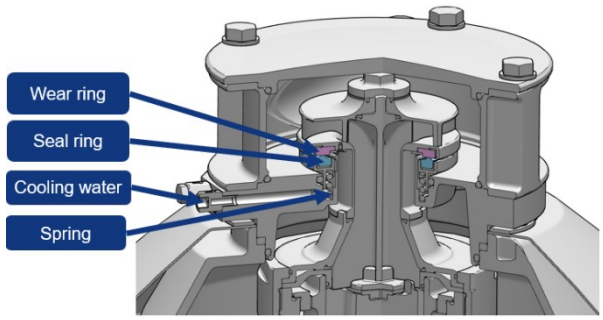


Fig. 2. Outlet mechanical seal

The combined implementation of these measures makes it possible to reduce oxygen pickup, improve process stability, and increase the microbiological safety of clarified beer.

Conclusions. The key factors affecting beer aeration during centrifugal clarification in industrial production were identified. The proposed engineering solutions for hermetic disc-stack separators can be recommended for reducing dissolved oxygen increase and improving the quality stability of clarified beer.

References

1. Alfa Laval (2022), Centrifugal Separation in the Brewing Industry – Application Guide.
2. Alfa Laval (2023), Brew Series: Brew 701 eMotion™ – Hermetic beer clarification separator.
3. Biendl M. et al. (2020), Oxidation in Beer – Mechanisms and Control Strategies, Journal of the Institute of Brewing.

The effectiveness of using decanter centrifuges for resource conservation and waste disposal in the brewery

Vitalii Okolita[1], Valentyn Olishevskyi[1], Yevhen Babko[1]
[1]*National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine*

Introduction. Effective waste management is a critical factor in reducing the operational costs of a brewery. In the modern brewing industry, the continuous optimization of production lines is driven by the simultaneous need to maximize extract yield and adhere to increasingly strict environmental regulations. Modern production requires the implementation of separation equipment that offers significant advantages in terms of quality and environmental requirements. Traditional separation methods, such as gravity settling in sedimentation tanks or standard filtration, often struggle with highly viscous mixtures or streams with a high concentration of suspended solids, leading to substantial product losses and excessive waste generation.

One of the most promising solutions for such complex multiphase tasks is the use of decanter centrifuges (Fig. 1), which demonstrate high efficiency in mechanical dewatering processes. By utilizing high centrifugal forces (often exceeding 3000-4000 x g), decanters accelerate the sedimentation process, allowing for continuous, high-volume processing of heterogeneous mixtures that would otherwise be difficult or impossible to separate efficiently using conventional filtration technologies.

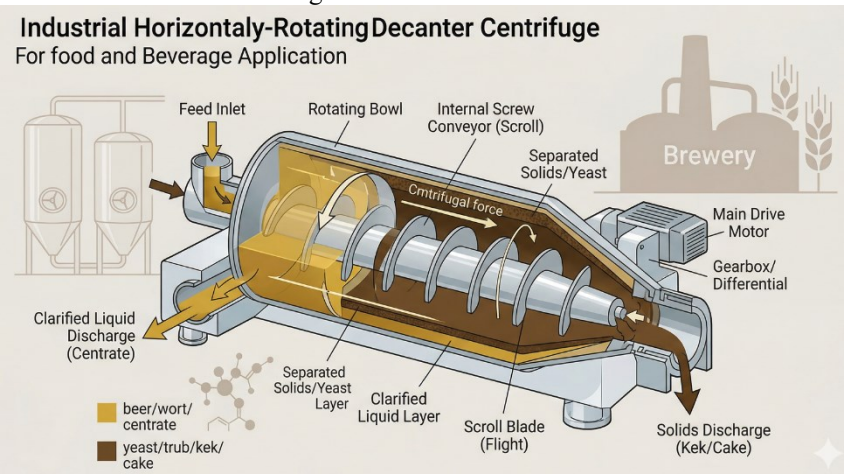


Fig. 1. Scientific illustration of the operating principle of a horizontal scroll centrifuge (decanter) for the food industry, demonstrating the separation of a suspension into a clarified liquid (Centrate) and a dewatered solid (Cake) phase

Materials and methods. The performance of decanter centrifuges in brewing applications depends on the physical and rheological properties of the processed media, primarily the density difference between the liquid and solid phases, particle size distribution, and dynamic viscosity. The decanter consists of a rotating cylindrical-conical bowl and an internal scroll conveyor operating at a slight differential speed. This differential velocity allows for the continuous transport and discharge of the settled solids (cake) while the clarified liquid (centrate) overflows through adjustable weir plates.

Traditionally, after the boiling stage, the wort is clarified in a hydrocyclone apparatus (whirlpool), where a hot protein-hop sediment (trub) is formed, containing a significant amount of the target product. The trub forms a compact cone at the bottom of the whirlpool, but its matrix retains up to 80% liquid wort. The application of a decanter centrifuge allows for the efficient separation and return of this wort to the production cycle of the same brew.

The decanter applies high shear and centrifugal forces to squeeze the liquid out of the protein-hop matrix. The use of a decanter at this stage saves between 5% and 7% of the wort, ensuring a rapid return on investment (in less than 2 years).

Furthermore, the fermentation process is accompanied by the formation of yeast mass, which contains a considerable amount of marketable beer. Processing tank bottoms presents a significant challenge due to the shear-sensitive nature of yeast cells and the high risk of oxygen pick-up. Decanter centrifuges are often the best solution for separating this beer from the yeast. In this regard, preventing product oxidation is critically important, as oxygen triggers the formation mechanisms of "stale" flavors. Specifically, the introduction of oxygen accelerates the degradation of iso-alpha acids and promotes the formation of Strecker aldehydes and trans-2-nonenal, which irreversibly damage the beer's colloidal and flavor stability. Modern decanter models are equipped with special hermetic seals and carbon dioxide purge systems that minimize the product's contact with oxygen. This allows the recovered beer to be returned to the process (usually directly into the maturation tank or before final filtration) without compromising its quality characteristics.

Results. Decanters effectively solve the problem of utilizing specific brewery wastes:

Brewer's spent grain: Centrifuging wet spent grain after the mash filter or lauter tun allows for the removal of excess moisture. The resulting product has a high dry matter content and can be sold as animal feed or used as biofuel.

Spent yeast: Since it contains significant volumes of liquid, decanters are an ideal solution for moisture removal, providing an extremely dry cake and reducing the enterprise's logistical costs.

Kieselguhr slurry: Thanks to special abrasive wear protection, decanters effectively dewater spent kieselguhr (diatomaceous earth), which greatly facilitates its disposal.

Additionally, decanters can be used to thicken surplus activated sludge from biological treatment systems prior to its disposal. This allows for an effective reduction of the biological oxygen demand (BOD) in the effluents discharged to wastewater treatment plants.

Conclusions. The use of decanter centrifuges is one of the most effective approaches to increasing the economic efficiency of brewing production. By transitioning from batch-based or gravity-dependent separation methods to high-performance, continuous centrifugal technology, modern breweries can achieve significant improvements in their resource utilization. They provide a comprehensive result: optimizing internal plant waste logistics by transforming liquid sludges into easily transportable dry solids, reducing the environmental footprint through lower water consumption and wastewater load, and allowing the target product (wort and beer) to be returned to the production cycle with minimal risks of quality loss. Ultimately, the implementation of decanter centrifuges supports the transition toward a circular economy within the brewing industry, ensuring long-term sustainability and profitability.

References

1. Alfa Laval (2013). Getting more from less: Alfa Laval Foodec decanter centrifuges in breweries. Technical brochure (PFT00284EN 1308). Alfa Laval Corporate AB, Sweden.
2. Lehnhardt, F., Gastl, M., & Becker, T. (2021). A Comprehensive Evaluation of Flavor Instability of Beer (Part 1): Influence of Release of Bound State Aldehydes. Foods, 10(10), 2432.
3. Kunze, W. (2014). Technology Brewing and Malting (5th ed.). VLB Berlin.

Синтез алгоритму позиційного керування функціонально-мехатронного модуля з пневматичним приводом мускульного типу для пакування харчових продуктів

Ярослав Войтюк, Микола Якимчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Пневматичні приводи мускульного типу характеризуються суттєвою нелінійністю статичних та динамічних характеристик, що ускладнює досягнення необхідної точності позиціонування у функціонально-мехатронних модулях пакування. Метою роботи є синтез алгоритму позиційного керування функціонально-мехатронного модуля з пневмомускулом, що забезпечує задану точність при мінімальному часі перехідного процесу.

Матеріали та методи. Об'єктом дослідження є функціонально-мехатронний модуль вертикального підйому (рис. 1), що застосовується для точного подавання упаковок між рівнями конвеєрної лінії — зокрема для позиціонування продукту під укладальний або кришкозакрутний вузол.

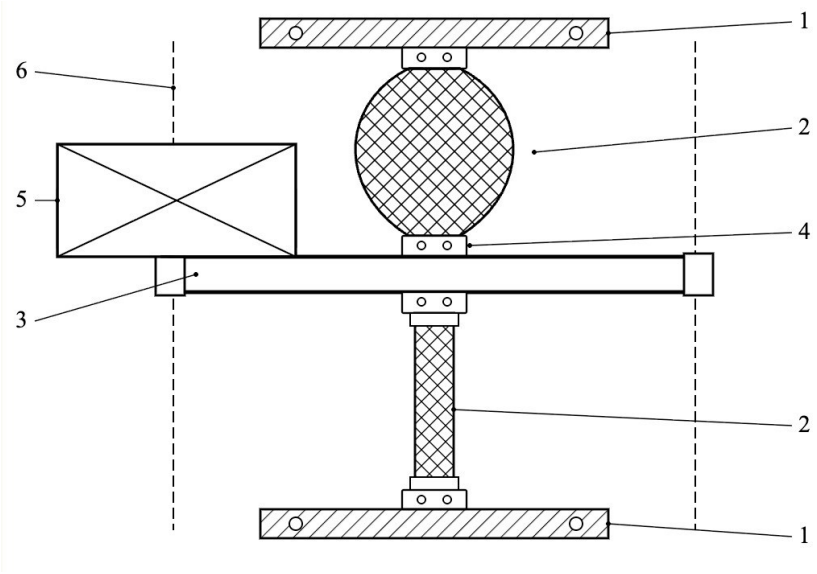


Рис. 1. Схема функціонально-мехатронного модуля вертикального підйому на основі антагоністичної пари пневмомускулів, де 1 – нерухома рама; 2 – пневмомускули типу McKibben; 3 – рухома платформа; 4 – з'єднувальний елемент; 5 – упаковка; 6 – напрямна стійка;

Модуль побудований на основі антагоністичної пари пневмомускулів типу McKibben: верхній мускул (тиск p_1) тягне рухому платформу вгору, нижній (тиск p_2) — повертає її у початкове положення. Платформа переміщується вертикально вздовж напрямних стійок, утримуючи упаковку під час підйому. Керуючи співвідношенням тисків p_1 та p_2, забезпечується точне позиціонування платформи на заданій висоті x у діапазоні робочого тиску 2–5 бар. Математичну модель сили пневмомускула описано поліноміальним рівнянням [1]:

$$F(p,\varepsilon) = (a_1 p + b_1)\varepsilon^2 + (a_2 p + b_2)\varepsilon + (a_3 p + b_3)$$

де p — тиск [МПа]; $\varepsilon = \Delta L/L_0$ — відносне скорочення; $a_1..b_3$ — ідентифіковані коефіцієнти моделі. Для синтезу регулятора використано лінеаризовану передатну функцію системи навколо робочої точки (p_0 = 3,5 бар, ε_0 = 0,12):

$$W(s) = \frac{K}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1}$$

де K = 2,3 мм/В; T = 0,08 с; ξ = 0,45 — ідентифіковані параметри. Запропонований алгоритм керування поєднує ПІД-регулятор із нелінійною компенсацією за моделлю (прямим керуванням):

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(\tau)d\tau + K_d \frac{de}{dt} + u_{ff}(x_d, \dot{x}_d)$$

де e(t) = xd − x — похибка позиціонування; u_ff — сигнал прямого керування, що розраховується на основі оберненої моделі пневмомускула. Для моделювання системи керування розроблено структурну схему у середовищі MATLAB/Simulink, що включає блок об'єкта керування, блок зворотного зв'язку за положенням та блок прямого керування. Ідентифікацію параметрів моделі проведено методом найменших квадратів за експериментальними даними, отриманими на фізичному стенді з пневмомускулами різних типів при варіюванні тиску від 2 до 5 бар. Параметри регулятора: Kp = 18,4; Ki = 12,7; Kd = 0,9.

Результати та обговорення. За результатами моделювання отримано перехідні характеристики при ступінчастому вхідному сигналі xd = 30 мм - заданому лінійному переміщенні робочого органу функціонально-мехатронного модуля від початкового положення - для двох варіантів керування.

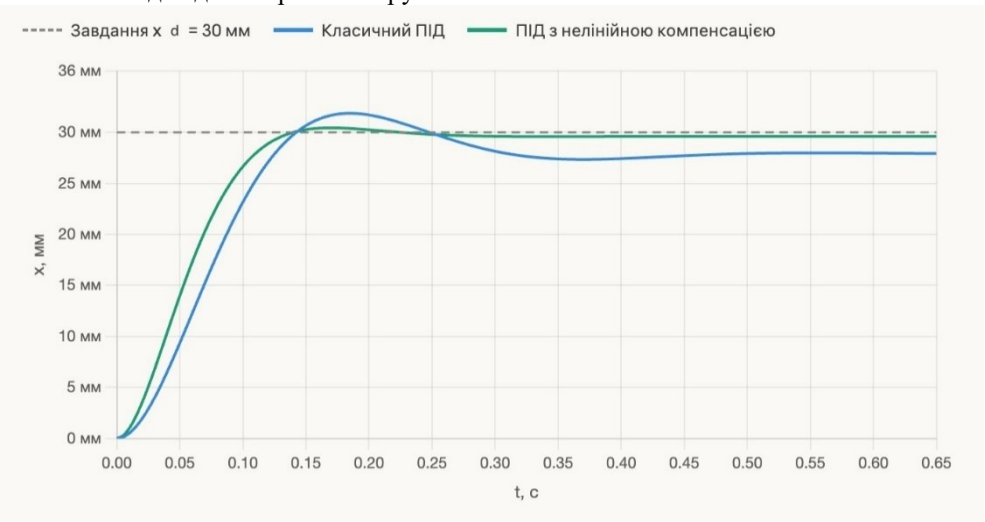


Рис. 2. Перехідні характеристики системи позиційного керування функціонально-мехатронного модуля з пневмомускулом при заданому переміщенні xd = 30 мм (цільове лінійне переміщення робочого органу модуля від початкового положення): 1 - класичний ПІД; 2 - ПІД з нелінійною компенсацією

Порівняльні показники якості керування наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння показників якості позиційного керування

Показник	**ний ПІД**	**ропонований алгоритм**
ерехідного процесу, с	,38	0,19
еререгулювання, %	4,2	2,8
атична похибка, мм	2,1	0,4
Іас наростання, с	,21	0,12

Введення нелінійної компенсації за моделлю дозволило скоротити час перехідного процесу вдвічі - з 0,38 до 0,19 с, а статичну похибку - з 2,1 до 0,4 мм, що відповідає вимогам пакувальних операцій з тарно-штучними продуктами. Аналіз перехідних характеристик (рис. 2) свідчить, що класичний ПІД-регулятор демонструє значне перерегулювання внаслідок нелінійної залежності сили пневмомускула від тиску та ступеня скорочення. Блок прямого керування компенсує цю нелінійність шляхом подачі попереднього розрахункового сигналу, що суттєво зменшує навантаження на зворотньозв'язкову частину регулятора. Додатково встановлено, що запропонований алгоритм зберігає стійкість при варіюванні зовнішнього навантаження на ±20 % від номінального значення, що підтверджує його робастність в умовах реального технологічного процесу пакування.

Висновки. Синтезовано алгоритм позиційного керування функціонально-мехатронного модуля з пневмомускулом, що поєднує ПІД-регулятор із нелінійною компенсацією на основі оберненої моделі приводу. Порівняно з класичним ПІД-регулятором, запропонований алгоритм скорочує час перехідного процесу вдвічі — з 0,38 до 0,19 с, зменшує перерегулювання з 14,2 до 2,8 % та статичну похибку з 2,1 до 0,4 мм. Отримані показники задовольняють вимоги до точності та швидкодії пакувальних операцій з тарно-штучними харчовими продуктами. Подальші дослідження передбачають експериментальну верифікацію алгоритму на фізичному стенді та адаптацію параметрів регулятора до змінних умов навантаження.

Література

1. Martens M., Seel T., Boblan I. (2023), A decoupling servo pressure controller for pneumatic muscle actuators, *Actuators*, 12(3), 104. https://doi.org/10.3390/act12030104

2. Andrikopoulos G., Nikolakopoulos G. (2022), Design and development of a pneumatic muscle-driven exoskeleton, *Mechatronics*, 84, 102772.

3. Kelasidi E., Andrikopoulos G., Nikolakopoulos G., Manesis S. (2023), A survey on pneumatic muscle actuators modeling, *Journal of Robotics*, 2023, 1–18. https://doi.org/10.1155/2023/8871237

Аналіз конструкції спеціалізованих роботизованих мехатронних модулів Schubert GmbH в складі пакувального обладнання

Іван Глущенко, Микола Якимчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасна пакувальна та харчова промисловість, як і будь-яка інша галузь промисловості стикається із глобальними викликами сучасності. Для їх вирішення широко використовуються універсальні промислові роботи, що забезпечують гнучкість та продуктивність виробництва [1-2]. Однак через ряд стримуючих факторів, рівень інтегрування промислових роботів в харчовій промисловості залишається найнижчим із всіх інших галузей промисловості [3]. Одним із рішень даної проблематики є розробка спеціалізованих роботизованих мехатронних модулів, що потребує аналізу конструкції наявних спеціалізованих мехатронних модулів.

Матеріали та методи. Аналіз та декомпозиція конструкцій спеціалізованих роботизованих мехатронних модулів Schubert GmbH

Результати. Для узагальнення конструктивних особливостей спеціалізованих роботизованих мехатронних модулів Schubert F2 та F3 було застосовано метод декомпозиції, який передбачав послідовний поділ конструкції на функціональні вузли, визначення їхніх структурних елементів і встановлення виконуваних ними функцій. Такий підхід дав змогу розглянути будову роботизованих мехатронних модулів та виділити його функціональні елементи. Результати декомпозиції конструкції роботизованого мехатронного модуля Schubert F2 представлено в Таблиці 1.

Таблиця 1. Декомпозиція мехатронного модуля Schubert F2 за функціональною структурою

Характеристика	Станина (базовий модуль)	Рухомі ланки (ланка №1, №2)	Вихідна ланка (виконавчий модуль)	Система керування
Основні функції	Монтаж та фіксація функціональних елементів та приводів	Забезпечення просторового переміщення виконавчого пристрою	Орієнтація та позиціонування пристрою захоплення	Керування приводом мехатронного модуля; обробка сигналів зворотного зв’язку
Складові (структурні елементи)	Станина; серводвигун; важільні механізми	Важільні механізми	Важелі, механізм швидкої заміни пристрою захоплення	Програмований логічний контролер (ПЛК); датчики зворотного зв’язку

Узагальнюючи результати декомпозиції та порівняльного аналізу, можна стверджувати, що найбільш типовими для спеціалізованих роботизованих мехатронних модулів є конструкції з двома або трьома ступенями вільності. Саме така кількість ступенів вільності забезпечує раціональне поєднання конструктивної простоти, достатньої рухомості виконавчого органа та високої швидкодії під час виконання операцій pick-and-place. За результатами структурного аналізу досліджених зразків встановлено, що передача руху до робочих ланок у подібних модулях

реалізується переважно через важільні механізми або зубчасто-пасові передачі, що визначається вимогами до точності позиціонування, динаміки руху та компоновки робочої зони.

На основі проведеного структурно-функціонального аналізу існуючих конструкцій роботизованих мехатронних модулів розроблено узагальнену структурну схему, яка відображає типову архітектуру спеціалізованих роботизованих мехатронних модулів, що застосовуються у пакувальному обладнанні (Рис.1).

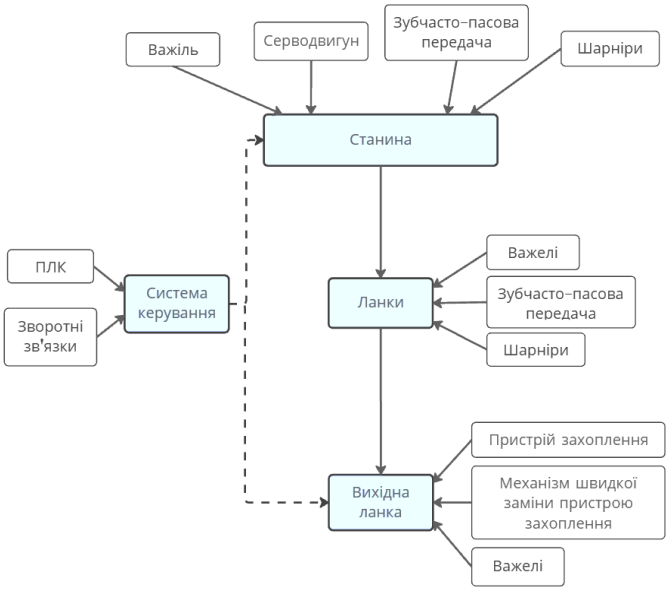


Рис.1. Узагальнена структурна схема спеціалізованого роботизованого мехатронного модуля для пакувального обладнання

Висновки. Запропонована структурна схема спеціалізованого роботизованого мехатронного модуля для пакувального обладнання узагальнює взаємозв'язки між його основними функціональними вузлами: станиною, рухомими ланками, вихідною ланкою та системою керування. У межах цієї структури відображено типові способи передачі руху через важільні механізми та зубчасто-пасові передачі, а також визначено склад виконавчих компонентів. Додатково враховано наявність контуру керування із зворотними зв'язками, що забезпечує узгоджену роботу всіх елементів роботизованої мехатронної системи

Література

1. Bader, Farah & Rahimifard, Shahin. (2018). Challenges for Industrial Robot Applications in Food Manufacturing. 1-8. 10.1145/3284557.3284723.
2. Nayik, Gulzar & Muzaffar, Khalid & Gull, Amir. (2015). Robotics and Food Technology: A Mini Review. Journal of Nutrition and Food Sciences. 5. 10.4172/2155-9600.1000384.
3. World Robotics 2025 report – INDUSTRIAL ROBOTS – released by IFR https://ifr.org/downloads/press_docs/PressConference2025_presentation.pdf

Динаміка процесу дозування рідких харчових продуктів у поршневому дозаторі з пневматичним приводом

Костянтин Зленко, Микола Якимчук, Іван Миколів
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасних умовах розвитку харчової промисловості питання підвищення точності та продуктивності дозування рідких продуктів набуває особливої актуальності. Дозування є ключовою операцією, що визначає стабільність технологічного процесу, якість готової продукції та економічні показники виробництва. Особливу увагу приділяють дослідженню динаміки роботи дозуючих систем, оскільки саме часові характеристики процесу, наявність перехідних режимів та коливальних явищ формують кінцеву точність дозування.

Поршневі дозатори з пневматичним приводом широко застосовуються завдяки простоті конструкції, високій надійності та можливості забезпечення стабільної дози. Разом з тим, їх робота супроводжується складними динамічними процесами, пов'язаними зі зміною тиску в пневмосистемі та гідравлічним опором потоку продукту. Цикл порційного дозування включає процеси заповнення і спорожнення посудин, трубопроводів і ємностей, причому ці процеси протікають у вигляді витікання рідини через різні канали і при різних умовах. З різноманітності подібних режимів слід розглянути процеси подачі і витрати рідини, що дозується в напірній ємності, а також відмірювання і видачі заданої дози в мірній ємності.

Не зважаючи на широке застосування дозаторів різноманітних типів в технологічних процесах харчових виробництв, теоретичний розгляд принципів дозування, можливих джерел похибок при вимірюванні дози і точності дозаторів проводилися недостатньо, через що ці питання потребують подальших досліджень.

Матеріали і методи. Експериментальні дослідження проводилися на поршневому дозаторі з пневматичним приводом. Діаметр пневмоциліндра становив 70 мм, діаметр вихідної насадки 7 мм. У ході досліджень змінювався тиск стисненого повітря в магістралі в межах 4–6 бар за умови сталої дози. Реєстрація параметрів здійснювалася у реальному часі із використанням системи збору даних.

Для програмного управління системою використовувався спеціальний пропорційний регулятор тиску компанії Festo серії VPPX. Для експериментів він був обраний тому, що вільний вибір вхідних та вихідних значень заданого значення та фактичного значення робить регулятор надзвичайно гнучким: все регулюється індивідуально, входи та виходи можуть бути встановлені на однакові або різні одиниці та визначатись як струм або напруга. Фіксувалися залежності тиску в порожнинах пневмоциліндра та переміщення поршня від часу, що дозволило дослідити динамічні характеристики процесу дозування (рис.1).

Результати. Проведений аналіз експериментальних графіків дозволив встановити характерні особливості динаміки процесу дозування. Виявлено, що процес має чітко виражену фазову структуру, яка включає етап початкової затримки, фазу розгону, квазістаціонарний режим та фазу гальмування. При тиску 4 бар загальний час циклу становить близько 2,8 с. Збільшення тиску до 5 бар призводить до скорочення часу до 2,2 с, тоді як при 6 бар тривалість циклу становить біля 1,8 с. Таким чином, підвищення тиску забезпечує зменшення часу виконання операції приблизно на 30–35%. Початкова фаза роботи поршневого дозатора характеризується затримкою, пов'язаною з наростанням тиску в робочій порожнині пневмоциліндра. Фаза розгону супроводжується різким збільшенням швидкості переміщення поршня, що

обумовлено зростанням рушійної сили. У квазістаціонарному режимі швидкість поршня стабілізується, після чого спостерігається гальмування наприкінці ходу. Встановлено, що характеристика зміни коливання тиску в межах ±0,2 бар пов'язані з роботою розподільчих елементів пневмосистеми.

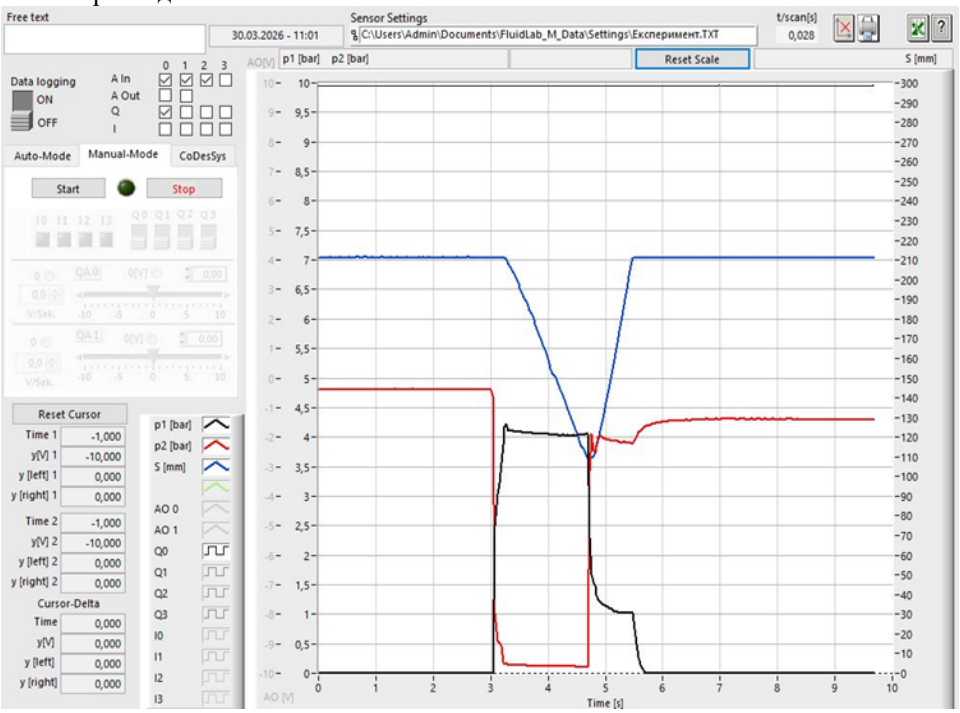


Рис. 1 Залежності зміни тисків (1 та 2) в пневматичному циліндрі та координати поршня дозатора (3) при магістральному тиску 4 бар.

Результати дослідження показані в таблиці 1.

Таблиця 1

Таблиця експериментальних даних

Тиск, бар	**Час циклу, с**	**Фаза розгону, с**	**Особливості процесу**
4	2,5–2,8	≈0,5	Тривалі перехідні процеси
5	2,0–2,2	≈0,4	Стабілізація руху
6	1,6–1,8	≈0,3	Інтенсивна динаміка

Висновки. Встановлено, що збільшення тиску стисненого повітря з 4 до 6 бар призводить до скорочення часу дозування з 2,5–2,8 с до 1,6–1,8 с, що відповідає зменшенню тривалості циклу на 30–35%. Підвищення тиску забезпечує зменшення тривалості перехідних процесів, зокрема фази розгону поршня з ~0,5 с до ~0,3 с, та підвищення швидкості його переміщення. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування раціональних режимів роботи поршневих дозаторів.

Підвищення ефективності термозбіжного тунелю для пакованих харчових продуктів

Владислав Приходько, Микола Якимчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

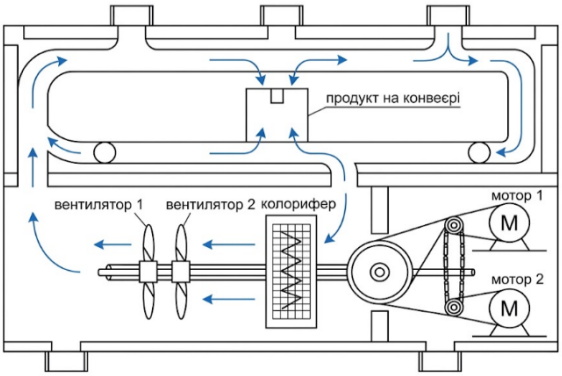
Вступ. Термозбіжні тунелі широко застосовуються для пакування продукції, проте їх використання стримується значною енергоємністю. Традиційні відцентрові системи спричиняють високі тепловтрати та надмірну турбулентність. Це зумовлює перевитрати енергії та нерівномірну усадку плівки, що потребує розробки інноваційних енергоефективних вузлів обдуву для стабілізації процесу.

Матеріали та методи. Об'єктом модернізації обрано термотунель COMPACT 450 K. Штатну відцентрову турбіну замінено системою двох осьових вентиляторів зворотного обертання (contra-rotating) на коаксіальних валах із незалежним VFD-керуванням потоками. Для зниження енергоспоживання розроблено систему рекуперації: додаткові канали примусово повертають гаряче повітря з крайових зон (входу/виходу) назад у цикл нагріву.

Результати. Розроблено вентиляційний вузол на базі коаксіальних валів, що дозволило фізично ізолювати електродвигуни від робочої камери. Схема з крильчатками зворотного обертання та дефлектором формує стабільний ламінарний потік. Гнучкий контроль тиску реалізовано через незалежне VFD-керування роторами, а для мінімізації втрат тепла на відкритих отворах тунелю впроваджено систему крайової рекуперації.

Запропонована модернізація гарантує рівномірну усадку плівки без термічних дефектів продукції. Перенесення приводів у безпечне температурне середовище кратно збільшує їхній експлуатаційний ресурс. Водночас покращена загальна аеродинаміка та постійне повернення нагрітого повітря в цикл суттєво розвантажують калорифери, максимізуючи загальний ККД та рентабельність пакувальної лінії.

Рис. 1 Принципова конструкція термозбіжного тунею з вентиляторами



зворотного обертання.

Висновки. Застосування вентиляторів зворотного обертання на коаксіальних валах стабілізувало аеродинаміку тунелю та забезпечило ламінарний обдув. Винесення приводів у холодну зону підвищило надійність, а VFD-керування та рекуперація суттєво знизили енерговитрати. Це максимізувало ККД та якість пакувального процесу.

Дослідження магнітного утримування металевої споживчої тари в конвеєрних системах пакувальних ліній

Владислав Скопець, Микола Якимчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Одним із ключових етапів автоматизації пакувальних ліній у харчовій промисловості є процеси підготовки та подачі металевої споживчої тари. Ефективність функціонування таких систем безпосередньо впливає на загальну продуктивність пакувальних комплексів, особливо в умовах необхідності зменшення габаритів обладнання та оптимізації енергоспоживання.

Матеріали та методи. Для дослідження силової взаємодії використано магнітні треки на основі постійних неодимових магнітів, інтегрованих у профіль конвеєрної системи (рис.1). Методика передбачала визначення сили відриву та сили зсуву металевої упаковки залежно від величини повітряного зазору між дном тари та поверхнею магнітної направляючої.

Результати. У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що застосування магнітних направляючих на основі неодимових магнітів забезпечує стабільне утримування металевої споживчої упаковки при різних просторових положеннях конвеєра. Зокрема, при зміні кута нахилу транспортної траси від 0° до 180° не зафіксовано втрати стійкості або відриву тари за умови забезпечення повітряного зазору в межах 1–3 мм. Також встановлено, що зменшення повітряного зазору на 1 мм призводить до зростання сили притягання в середньому на 15–20%, що дозволяє регулювати режими роботи системи.

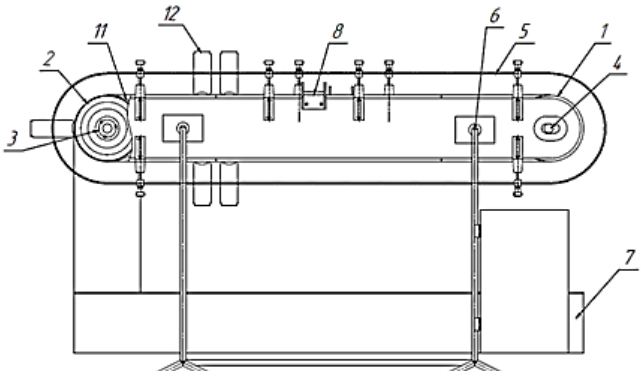


Рис. 1 Конвеєрна система для транспортування металевої споживчої

1.Конвеєрна стрічка, 2. Маг-нітний ролик, 3.Конічна втулка 4.Натяжний прис-трій 5.Бокові направляючі 6.Опорна рама 7.Ванна для рідини 8. Зонна завантаження металевої споживчої тари, 9. Зона для виван-таження металевої спо-живчої тари 10. Двигун-редуктор 11. Магнітні направляючі, 12.Металева споживча тара.

Висновки. Отримані результати підтверджують можливість реалізації багаторівневих транспортно-накопичувальних систем із використанням вертикальних та інверсійних ділянок траси. Це забезпечує зменшення габаритів лінії до 30% у порівнянні з традиційними рішеннями та дозволяє відмовитися від додаткових механічних притискних елементів.

Модернізація дезодоратора UNISTOCK з метою підвищення ефективності роботи

Олександр Карпенко, Євген Бабко, Валентин Олішевський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Перспективним напрямком є модернізація дезодоратора UNISTOCK за рахунок удосконалення контактних пристроїв та схеми теплопостачання.

Матеріали і методи. Для аналізу роботи модернізованого дезодоратора UNISTOCK обрано не класичні лабораторні дослідження, а імітаційне моделювання процесу дезодорації в середовищі процесного симулятора.

Результати. Замість реальної експериментальної установки формується імітаційна модель дезодоратора, що відтворює основні структурні елементи й режими роботи апарата: секцію попереднього підігріву та дегазації, основну дезодораційну колону з декількома контактними ступенями, систему подачі гострої пари та вузол відводу дистиляту. Такий підхід відповідає сучасній тенденції, коли першим етапом дослідження технологічних процесів є їх комп'ютерне моделювання в спеціалізованих пакетах (Aspen Plus, HYSYS, Pro/II, DWSIM тощо), що дозволяє швидко оцінити вплив різних параметрів і зменшити обсяг дорогих натурних випробувань.

Запропоноване технічне рішення передбачає впровадження плівкової тарілки як дезодораційного елемента в колоні типу UNISTOCK. Конструкція такої тарілки має забезпечувати формування тонкої, рівномірної плівки масла на робочій поверхні та інтенсифікувати контакт жиру з гострою парою при одночасному зниженні гідравлічного опору. У цьому випадку масообмін відбувається не в об'ємі значного шару рідини, а переважно в тонкій плівці, де дифузійні опори істотно менші.

Реалізація плівкового режиму дає змогу зменшити необхідну подачу барботажної пари при тому ж або вищому ступені дезодорації, скоротити час перебування масла в апараті за рахунок зменшення застійних зон та об'єму рідкої фази на тарілках, знизити енерговитрати на перегрів гострої пари і розвантажити вакуумну систему. Одночасно це дозволяє покращити показники якості дезодорованої соняшникової олії – запах, смак, кольоровість, вміст вільних жирних кислот та летких домішок.

Таким чином, модернізація дезодоратора за рахунок заміни традиційних тарілок на плівкові або введення плівкових секцій у зону дезодорації дозволяє підвищити інтенсивність масообміну «пар–олія» без пропорційного збільшення пароспоживання. Це напряму зменшує питомі енергозатрати і покращує техніко-економічні показники роботи лінії фізичної рафінації.

Отже, запропоноване технічне рішення полягає у комплексній модернізації: плівкова тарілка в дезодораторі UNISTOCK для інтенсифікації процесу дезодорації при знижених витратах пари та удосконалений кристалізатор для більш керованої кристалізації восків перед фільтрацією. Разом ці зміни дозволяють підвищити енергоефективність лінії фізичної рафінації, покращити якість готового продукту та забезпечити більш стабільні режими роботи обладнання.

Висновки. Заміна традиційних барботажних тарілок на плівкові контактні поверхні дозволяє інтенсифікувати масообмін, зменшити необхідну витрату пари та скоротити час перебування олії при високій температурі. Поглиблена рекуперація теплоти дезодорованої олії дає можливість знизити зовнішні теплові навантаження і, відповідно, енерговитрати.

Перспективні напрями підвищення ефективності роботи олійних пресів

Сергій Ястреба

Полтавська філія Національного університету харчових технологій, Полтава, Україна

Вступ. Історично першою була застосована технологія одержання олії пресуванням зерен рослинної сировини. Пресовий спосіб виробництва олії включає операції очищення насіння від домішок, відділення лузги, подрібнення, вологотеплову обробку, пресування. Проте він не забезпечує повне вилучення олії з насіння. Основною причиною цього є недосконалість пресового обладнання.

Матеріали і методи. Проведено патентний та аналітичний огляд вітчизняних та закордонних наукових та технічних джерел щодо конструкцій форпресів для попереднього та експелерів – для глибокого (кінцевого) вилучення олії.

Результати. На сучасних олійних підприємствах використовують лише шнекові преси безперервної дії їх робочим органом є шнековий вал, який обертається в рознімному ступінчастому барабані (зеєрі), стінки якого складаються з окремих пластин. Відтискання олії в шнекових пресах відбувається за рахунок стискання мезги завдяки зменшенню вільного об'єму між витками шнека.

На підставі розглянутих особливостей процесу пресування зроблено висновок, що одним із шляхів інтенсифікації процесу вичавлювання олії є підвищення рухливості і взаємних переміщень дисперсних часток мезги шляхом введення в середовище механічних коливань. З одного боку, це забезпечує підвищення ступеня ізотропності дисперсного середовища, а з іншого – руйнування гелевої структури дисперсних часток і зменшення залишкової олійності. Запропоновано конструкцію преса (патент на корисну модель №64454UA), в якій енергія коливань вводиться в продукт саме у вихідній частині преса, де діють найбільші навантаження (рис. 1).

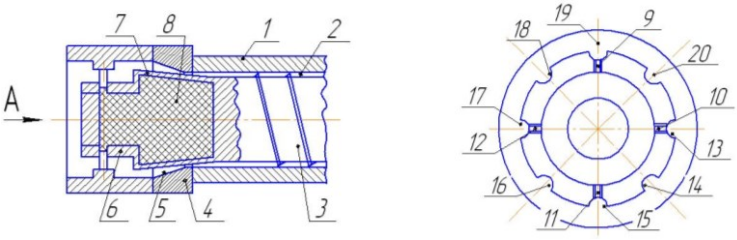


Рис.1. - корпус; 2 - робоча камера; 3 - шнековий вал; 4 - насадка; 5 - центральний отвір; 6 - вихідний хвостовик; 7 - пружна оболонка; 8 - гідропласт; 9–12 - плунжери; 13-20 - виступи

Вузол пресування складається з корпуса 1, робочої камери 2 з отворами для виходу олії, насадки 4 з кільцевим отвором 5 для виходу макухи. Вихідний хвостовик 6 шнекового вала 3 виконано порожнистим з пружною оболонкою 7, порожнина якого заповнена гідропластом 8, а обертово-ударний механізм виконано у вигляді сполучених з порожниною вихідного хвостовика радіально встановлених плунжерів 9-12, які при обертанні шнекового вала 3 здійснюють зворотно-поступальний рух у радіальному напрямі при взаємодії з виступами 13-19. Використання гідропласту дозволяє передати переривчасті зусилля від плунжерів пружній оболонці 7 хвостовика та сприяє пульсації оболонки, що сприяє додатковому відтисненню олії з макухи.

Висновки. Результатом введення в зону пресування енергії механічних коливань є інтенсифікація процесу виділення олії.

Сушильна установка з попереднім підігрівом повітря

Сергій Ястреба, Дмитро Люлька, Віталій Пономаренко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сушіння жому є енергозатратним процесом, що потребує постійного пошуку шляхів зменшення затрат палива. Одним з напрямів економії є використання теплоти відпрацьованого сушильного агенту для нагрівання повітря, що подається в топку для горіння палива.

Матеріали і методи. Проведено патентний пошук, аналітичний огляд наукових та технічних джерел щодо конструкцій жомосушильних установок та особливостей їх роботи. Використано розрахунковий метод для аналізу витрат тепла для сушіння продуктів цукрового виробництва.

Результати. Недоліком типової жомосушильної установки є великі втрати тепла з сушильним агентом, що видаляється в атмосферу. В той же час первинне повітря, яке направляється в топку для горіння палива та повітря, що змішується з топковими газами має температуру 20°С і за рахунок згорання палива нагрівається до температури висушування жому 750…800°С. Для нагрівання цього повітря до заданих меж потребуються значні затрати тепла, що отримують при згоранні палива в топці.

Пропонується (рис. 1) додатково встановити рекуперативний теплообмінник протитечійного типу, який містить перший нагрівальний контур для сушильного агента та другий контур нагрівання для повітря, при цьому вхід нагрівального контуру теплообмінника з'єднаний з осьовим випускним патрубком циклону, а вихід — з патрубком видалення відпрацьованого агента в атмосферу, тоді як вхід контуру нагрівання теплообмінника з'єднаний з патрубком забору атмосферного повітря, а вихід з патрубками подачі підігрітого повітря в топку

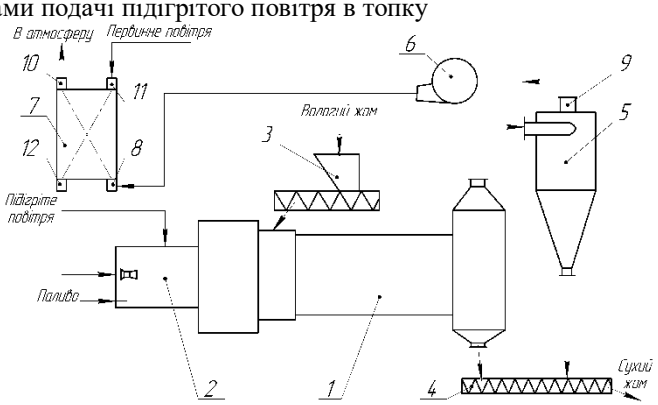


Рис.1. Схема роботи жомосушильної установки з попереднім підігрівом повітря: 1-жомосушильний барабан,2- топка, 3, 4-завантажувальний та вивантажувальні пристрої, 5-циклон, 6- димосос, 7- теплообмінник протитечійного типу

Запропонована схема попереднього підігріву повітря за рахунок використання тепла відпрацьованого сушильного агента дозволяє нагріти первинне повітря з 20°С до 100°С, що економить до 10 % палива.

Висновки. Технічний результат даного технічного рішення полягає в підвищенні енергоефективності жомосушильної установки за рахунок використання тепла відпрацьованого сушильного агенту на підігрів первинного повітря.

Дисковий розпилювач з ежекційним ефектом для сушильних установок

Дмитрій Бондарчук, Роман Якобчук, Віталій Пономаренко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Ефективність сушіння рідин у сушильних установках значною мірою визначається інтенсивністю масообмінних процесів протягом всього періоду сушіння. Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності сушіння є використання дискових розпилювачів, здатних забезпечувати ежектування сушильного агента безпосередньо в зону розпилення рідини. Це дозволяє збільшити продуктивність сушильної установки при високій якості продукції за рахунок інтенсифікації процесів тепло- та масоперенесення.

Матеріали і методи. Проведено аналіз наукових та технічних джерел щодо конструкцій дискових розпилювачів та їх ефективності при сушінні харчових продуктів. На основі узагальнення технічних рішень запропоновано конструкцію дискового розпилювача з ежекційним ефектом.

Результати. В запропонованому дисковому розпилювачі використано ефект ежектування газової фази безпосередньо в зону контакту фаз. Дисковий розпилювач (рис. 1) включає корпус 1 з розподільними каналами 2 і сопловими отворами 3. До корпусу приєднані верхня 4 та нижня 5 профільні пластини, між якими утворено зазор 6 для проходу сушильного агента. Профільні елементи формують конфузорну частину 7, горловину 8 та дифузор 9, які разом утворюють ежекційний апарат. На нижній стороні корпусу диска розміщено радіальні лопатки 10, що забезпечують додаткову подачу сушильного агента у зону змішування.

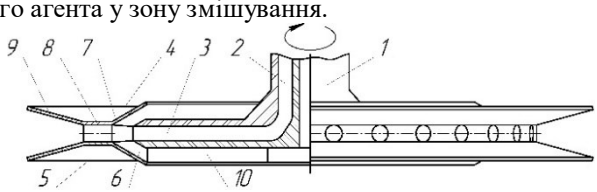


Рис.1 Дисковий розпилювач з ежекційним ефектом

Під час роботи дискового розпилювача (10 тис. об/хв) рідина через соплові канали диспергується та ежектує газову фазу (сушильний агент) і потрапляє в горловину ежекційного апарата. Тут відбувається змішування потоків, що супроводжується інтенсивним процесом масоперенесення. У горловині ежекційного апарата реалізується перша активна фаза тепло- і масообміну, а дифузор забезпечує стабілізацію газорідинного потоку перед його виходом у об’єм сушильної установки.

Завдяки запропонованій конструкції дискового розпилювача з ежекційним ефектом організовано двоступеневий процес сушіння. Перший ступінь – в зоні ежекційного апарата, другий – у сушильному об’ємі установки. Така конструкція дозволяє забезпечити стабільне формування факела розпилення, підвищити інтенсивність масообмінних процесів та покращити якість висушеного продукту.

Висновки. Розпилювальний диск запропонованої конструкції забезпечує ефективне ежектування сушильного агента в зону диспергування, що інтенсифікує процеси тепло- і масоперенесення. Запропоноване технічне рішення є перспективним для сушіння рідких і в’язких харчових продуктів, зокрема в малогабаритних сушильних апаратах.

Література

Пономаренко В.В., Якобчук Р.Л., Люлька Д.М., Бондарчук Д.С. Розпилювальний диск. Патент на корисну модель №159905. Опубл. 16.07.2025, Бюл. №29/2025.

Обґрунтування продукту для дискового розпилення в сушильних апаратах

Дмитрій Бондарчук, Роман Якобчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Зростання частки малих підприємств харчової промисловості, зокрема крафтових виробництв, зумовлює потребу у компактних сушильних апаратах, здатних ефективно переробляти невеликі та сезонні партії сировини. Одним із перспективних способів отримання порошкових харчових інгредієнтів є розпилювальне сушіння з дисковим розпилювачем. Цей спосіб забезпечує інтенсивне диспергування рідкого продукту, короткий час контакту з теплоносієм і можливість керування параметрами процесу.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є малогабаритний сушильний апарат з дисковим розпилювачем та рідкі/пастоподібні харчові продукти. Оцінювання виконано аналітико-розрахунковим методом із порівнянням продуктів за сукупністю критеріїв: фізико-механічні властивості, придатність до розпилення дисками діаметром 50–100 мм, можливість роботи з малими партіями, комерційний потенціал. Узагальнення результатів здійснено за допомогою інтегрального індексу за п'ятибальною шкалою.

Результати. Запропонована система критеріїв дозволяє виділити продукти, що стабільно подаються на диск, характеризуються помірною в'язкістю, не містять грубих включень після гомогенізації або фільтрації та мають керований вміст сухих речовин. Такі системи забезпечують рівномірне формування краплин і технологічну стабільність процесу сушіння.

За результатами інтегральної оцінки найбільш придатними для дискового розпилення визначено овочево-фруктові соки та пюре. Найвищі показники отримали гарбузове пюре (4,6), яблучний сік/пюре (4,5) та буряковий сік/пюре (4,3). Як альтернативні продукти для сегмента приправ і харчових основ – соєвий соус (4,1) та овочевий бульйон (4,0). Для малогабаритних сушильних апаратів продуктивністю 1…8 кг/год за випареною вологою доцільним є використання дискових розпилювачів діаметром 50…100 мм зі швидкістю обертання 10…25 тис. об/хв. Для фруктово-овочевих соків/пюре рекомендовано температуру теплоносія на вході 140…180 °C та на виході 65…80 °C. За таких умов формуються краплини діаметром приблизно 40…70 мкм, що забезпечує ефективне висушування продукту.

Аналіз конструктивних рішень сушильних камер показав доцільність використання різних компоновок залежно від реологічних властивостей продукту.

Висновки. Сформовано систему критеріїв вибору продуктів для сушіння у малогабаритних сушильних апаратах з дисковим розпилювачем та запропоновано інтегральний підхід до їх оцінювання. Встановлено, що овочево-фруктові соки та пюре є найбільш технологічно придатними та комерційно перспективними для отримання порошкових продуктів на підприємствах малої потужності. Узагальнено типові конструктивні рішення сушильних камер і визначено раціональні діапазони режимних параметрів роботи дискового розпилювача.

Література.

1. Barańska A., Jedlińska A., Samborska K. Is it possible to produce carrier-free fruit and vegetable powders by spray drying? *Polish journal of food and nutrition sciences*. 2023. Vol. 73, Is. 3. P. 214–223. https://doi.org/10.31883/pjfns/168709

2. Dantas A., Piella-Rifà M., Costa D. P., Felipe X., Gou P. Innovations in spray drying technology for liquid food processing: design, mechanisms, and potential for application. Applied food research. 2024. Vol. 4, Is. 1. P. 100382. https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100382

Удосконалення пристроїв перемішування для в'язких харчових продуктів

Богдан Денисюк, Роман Якобчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. В умовах зростання вимог до енергоефективності, якості продукції та інтенсифікації технологічних процесів харчової промисловості проблема ефективного перемішування в'язких середовищ набуває особливої актуальності.

Проведено аналіз сучасних конструкцій пристроїв перемішування, що застосовуються в ємкісних апаратах для перемішування в'язких продуктів.

Проаналізовано вплив параметрів мішалок на гідродинаміку та енергоспоживання. Встановлено переваги комбінованих систем для мінімізації застійних зон та інтенсифікації теплообміну. Підтверджено ефективність CFD-моделювання для оптимізації енергоефективності процесів та оптимізації конструктивних і режимних параметрів обладнання.

Матеріали і методи. Робота базується на системному аналізі наукової літератури та сучасних підходів до CFD-моделювання гідродинаміки в'язких середовищ, представлених у наукових публікаціях. Застосовано комплекс теоретичних методів для оцінки впливу геометричних і кінематичних параметрів мішалок на циркуляційні потоки та енергоефективність в апаратах

Результати. Аналіз сучасних пристроїв перемішування виявив недоліки стандартних конструкцій при роботі з в'язкими середовищами (йогурти, пасти, соуси). Зокрема, лопатеві та якірні мішалки схильні до утворення застійних зон у центрі апарата, пропелерні – мають низьку ефективність біля стінок, а стрічкові характеризуються високою енергоємністю.

Перспективним напрямом є перехід до осьово-радіальних систем із кутом нахилу лопатей 35…45°, що дозволяє підвищити коефіцієнт теплообміну на 20…40% та скоротити час змішування до 50%. Проведено аналіз особливостей профілів лопатей та варіантів систем перемішування в ємкісному обладнанні. Найбільш ефективними визначено комбіновані конструкції, що поєднують переваги різних типів перемішування.

Запропоновано модифіковану конструкцію для апарату, яка поєднує стрічкову та пропелерну мішалки. Стрічка, встановлена з мінімальним зазором до стінок, що інтенсифікує рух продукту, а додатковий пропелер на валу усуває застійні зони на дні апарата. Таке поєднання забезпечує 15…25% економії енергії та покращує гомогенність продукту завдяки створенню складного тривимірного контуру циркуляції.

Висновки. Інтенсифікація тепло- та масообміну забезпечується вдосконаленням осьово-радіальних систем перемішування. Ключовим інструментом оптимізації є CFD-моделювання, що дозволяє обґрунтувати перспективність використання форм лопатей та керування швидкістю обертання. Впровадження цих рішень спрямоване на суттєве підвищення енергоефективності та інтенсивності технологічних процесів

Література

1. Salho, A.K., Hamzah, D.A. (2024). A review of stirred tank dynamics: Power consumption, mixing time and impeller geometry. *International Journal of Heat and Technology*, Vol. 42, No. 3, pp. 1081-1092. https://doi.org/10.18280/ijht.420335

2. Xu, H., Guo, J., Xu, S., & Wang, K. (2025). The Influence and optimization of mixing characteristics of feed based on response surface methodology of stirring paddle structure. *Processes*, 13(10), 3101 https://doi.org/10.3390/pr13103101

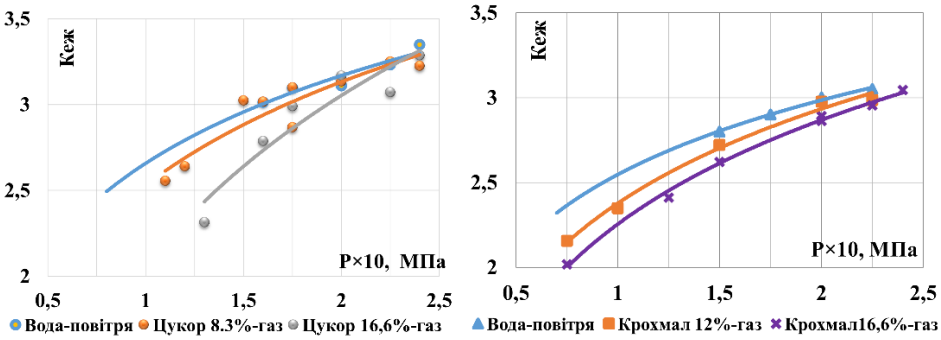
Вплив фізичних властивостей розчинів на роботу ежектора

Віталій Пономаренко, Роман Якобчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. В харчовій промисловості ежектори широко використовуються для здійснення технологічних процесів, причому робочі рідини можуть мати різні фізичні властивості, як то густину, поверхневий натяг і т.п. Це впливає на робочі характеристики ежекторів, для уточнення яких необхідні додаткові дослідження.

Матеріали і методи. Проведено аналіз наукових та технічних джерел щодо конструкцій ежекторів та їх робочих характеристик. Експериментально досліджувався ежектор з диспергованим струменем рідини та циліндричною камерою змішування в системах вода-повітря: модельних цукрових та крохмальних розчинах з концентраціями 12% та 16,6%. Гідравлічний стенд оснащений контрольно-вимірювальною апаратурою: лічильник газу об'ємного типу PREMA G 1,6, ротаційний витратомір рідини КВ-1,5, клас точності 1,5, манометр ОБМ1-160, кл. точності 1,5.

Результати. На основі проведених досліджень були отримані залежності коефіцієнта ежекції від тиску подачі рідини, які зображено на рис.1.



а б

Рис. 1 Залежність коефіцієнта ежекції від тиску подачі рідини:
а - цукрових розчинів; б - крохмальних розчинів

З аналізу результатів проведених досліджень встановлено, що збільшення концентрації цукрози (рис.1 а) спричиняє зменшення коефіцієнта ежекції, а при тиску подачі рідини в сопло форсунки ежектора більше 0,25 МПа, коефіцієнт ежекції не залежить від концентрації цукрози в рідині. Пояснити таку роботу ежектора можна тим, що при малих тисках подачі рідини в сопло форсунки, рідини з більшою концентрацією цукрози диспергуються на краплини правильної форми, чому сприяє більш висока в'язкість та поверхневий натяг. Зі збільшенням тиску рідини більш ніж 0,25 МПа, збільшується швидкість витікання, досягається критичний режим розпилення при якому краплі чистих розчинів та розчинів цукрози приймають кулясту форму рівновеликого діаметра. При цьому коефіцієнти ежекції для рідин різної концентрації зрівнюються.

Аналогічні досліди були проведені на крохмальних розчинах, результати яких представлені на рис. 1 б. Залежність коефіцієнта ежекції від концентрації розчинених речовин корелюють між собою.

Висновки. Отримані результати можуть бути використані при уточненні робочих характеристик ежекторів при їх роботі на рідинах з різними фізичними властивостями.

Робоча характеристика ежектора при його вертикальному положенні

Віталій Пономаренко, Роман Якобчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Ежектори широко використовуються в харчовій промисловості в різних просторових положеннях завдяки своїм незаперечним перевагам. Однак чи впливає це на робочі характеристики ежекторів, зокрема коефіцієнтів ежекції, потребує додаткових досліджень.

Матеріали і методи. Проведено аналіз наукових та технічних джерел щодо робочих характеристик ежекторів. Експериментально досліджувався ежектор з диспергованим струменем рідини та циліндричною камерою змішування в вертикальному положенні. Гідравлічний стенд оснащений контрольно-вимірювальною апаратурою: лічильник об'ємного типу PREMA G 1,6, ротаційний витратомір КВ-1,5, клас точності 1,5, манометр ОБМ1-160, кл. точності 1,5.

Результати. На рис. 1 представлена залежність об'ємного коефіцієнта ежекції від тиску рідини в соплі форсунки при протитиску від 0 до 500 мм вод ст.. Протитиск створювався при зануренні відкритого торця камери змішування ежектора в рідину.

Експериментальні дані з точністю 94…97% в межах досліджуваних тисків описуються рівняннями прямої лінії $y = кx + b$. При вільному витоку рідини з камери змішування (кінець камери змішування знаходиться над рівнем рідини в мірній посудині), спостерігається найбільший ефект ежекції. З підвищенням тиску рідини, під яким відбувається її диспергування з 0,05 МПа до 0,155 МПа коефіцієнт ежекції збільшується майже на 50%.

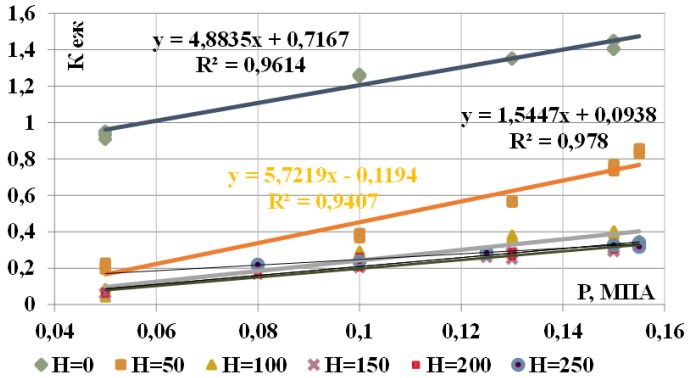


Рис.1. Залежність об'ємного коефіцієнта ежекції від тиску рідини в соплі форсунки при різному протитиску

Відповідно до результатів проведених досліджень, при збільшенні протитиску шляхом занурення кінця камери змішання під рівень рідини коефіцієнт ежекції зменшується, причому навіть при незначному протитиску (Н = 50 мм вод. ст.) коефіцієнт ежекції зменшується майже в п'ять разів. Збільшення глибини занурення кінця камери змішування до 250 мм вод. ст. не приводить до суттєвого зменшення коефіцієнта ежекції. Встановлюється рухома границя розділу фаз рідина-повітря, розміщення якої залежить від глибини занурення.

Висновки. Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні ежекторів вертикального положення, що працюють з протитиском.

Практика використання платформи Moodle при вивчені технічних дисциплін в умовах змішаного навчання

Дмитро Люлька, Роман Якобчук, Віталій Пономаренко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасна система вищої освіти в Україні зазнає трансформації під впливом глобальних викликів, зокрема пандемії COVID-19 та повномасштабної військової агресії. Ці чинники актуалізували потребу у впровадженні гнучких і безпечних моделей організації освітнього процесу, здатних забезпечити безперервність навчання без втрати якості професійної підготовки фахівців. Однією з найбільш ефективних моделей є змішане навчання (blended learning), яке поєднує традиційні аудиторні заняття з дистанційними технологіями та самостійною роботою здобувачів освіти.

Матеріали і методи. Проведено аналіз наукових джерел щодо теорії та практики змішаного навчання у закладах вищої освіти. Використано теоретико-методологічний аналіз наукових публікацій, порівняльний аналіз моделей blended learning. Для оцінювання ефективності впровадження цифрових освітніх інструментів застосовано кейс-метод, що передбачає аналіз практик Національного університету харчових технологій та інших освітніх закладів.

Результати. Більшість досліджень фокусується на загальнопедагогічних аспектах, тоді як специфіка викладання технічних дисциплін (що вимагають роботи з CAD-системами, креслениками, 3D-моделями) в умовах змішаного навчання розкрита недостатньо. В умовах підвищеного психологічного навантаження, спричиненого соціальними та воєнними факторами, особливого значення набуває раціональний добір мультимедійного контенту та оптимізація когнітивного навантаження здобувачів. Початково, blended learning розглядалось як допоміжний інструмент у професійній підготовці персоналу великих корпорацій та з 1990-х років ця модель почала проникати в академічну освіту.

Організація навчального процесу в середовищі Moodle може бути ефективною за умови врахування різних каналів когнітивного сприйняття інформації. Зокрема: ***іконічний канал*** активізується через використання відеоматеріалів, інфографіки та віртуальних лабораторій; ***символічний канал*** реалізується через текстові пояснення, теоретичні матеріали та аналітичні завдання; ***енактивний канал*** розвивається під час виконання практичних симуляцій, інтерактивних вправ та проєктних робіт.

Практика використання платформи Moodle у викладанні технічних дисциплін у НУХТ демонструє ефективність мультимедійних лекцій з елементами анімації, застосування опорних конспектів та візуалізації навчального матеріалу. Такий підхід сприяє активізації зорової пам’яті, розвитку асоціативного мислення та кращому засвоєнню складних технічних понять.

Використання платформи Moodle забезпечує рівний доступ до освітніх ресурсів для здобувачів з особливими освітніми потребами, сприяє їхній професійній орієнтації та інтеграції в освітнє середовище. Практичний досвід використання Moodle під час підготовки та захисту курсових проєктів показав підвищення ефективності навчання. Завдяки постійному доступу до методичних матеріалів, чіткій структуризації вимог та можливості зворотного зв’язку успішність здобувачів підвищилася в середньому на 10–15 % порівняно з традиційною організацією цього процесу.

Висновки. Використання можливостей платформи Moodle при змішаному навчанні дозволяє стимулювати та активізувати здобувачів в отриманні програмних результатів навчання та відповідних компетентностей.

Створення транспортно-накопичувальних ліній із застосуванням конвеєрних системи ARB (Actuated Roller Belts)

Юрій Якимчук, Роман Якобчук

Національний університет харчових технологій

Вступ. Одним із об'єктів модернізації робототехнічних систем пакування є пристрої для подачі та формування структурних елементів групової упаковки (ряду, шару, стопи). Ефективність роботи таких пристроїв може бути досягнута шляхом створенням гнучких ліній транспортування, які забезпечать швидке переналагоджування робототехнічної системи у випадку зміни розмірів вантажних одиниць, технологічної схеми укладання тощо.

Матеріали та методи. Для створення гнучких ліній транспортування досліджено конвеєрні системи ARB компанії Intralox. На основі відомих методик і результатів досліджень визначено основні залежності для розрахунку силових і кінематичних параметрів впливу пристроїв орієнтування, а також раціональні геометричні та кінематичні характеристики конвеєрів ARB з різними вантажонесучими конструкціями.

Результати. В транспортно-накопичувальну систему робототехнічних комплексів входять конвеєри, що виконують активні функції з транспортування або зміни просторової орієнтації вантажної одиниці та конвеєри, що виконують пасивні функції зі зберігання упаковок і напівфабрикатів (накопичувачі). Перша група конвеєрів може мати додаткові активні або пасивні механізми, які забезпечують задане просторове положення вантажній одиниці шляхом її примусового переміщення, орієнтування, формування ряду, шару тощо.

За результатами досліджень було з'ясовано, що застосування додаткових приводів, які передають рух через ролики на вантажну одиницю, забезпечує зміну траєкторії її руху. Використання сучасних комплектуючих у системах ARB дозволяє зменшити габарити лінії та оптимізувати кількість робочих органів. Електронні системи керування приводами та системи зі зворотним зв'язком забезпечують швидке переналагодження конвеєрної системи відповідно до потреб виробництва.

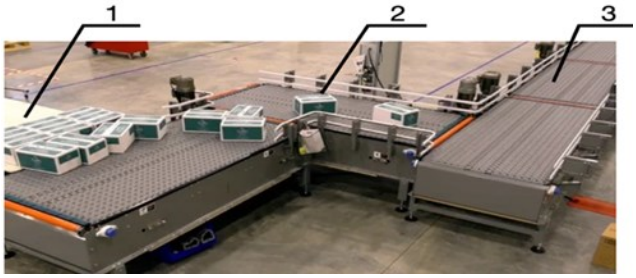


Рис. 1 Конвеєрна система ARB (Activated Roller Belt):
1 –конвеєр, що подає; 2 – конвеєр переорієнтації; 3 – відвідний конвеєр

Висновки. Встановлено, що використання конвеєрних системи ARB в робототехнічних лініях пакування дає змогу досягнути високої продуктивності пакувального комплексу, забезпечити гнучкість та швидке переналагодження, оптимізувати динамічні характеристики взаємодії пристроїв орієнтування на вантажну одиницю, зменшити енергетичні витрати на формування структурних елементів упаковки.

Дослідження процесу ерозії металу за допомогою cfd технологій

Андрій Олійник, Сергій Блаженко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Ерозія металу твердими частинками в потоці рідини чи газу є однією з головних причин передчасного виходу з ладу трубопроводів, клапанів та іншого обладнання в харчовій та хімічній промисловості. Традиційні методи оцінки ерозії трудомісткі та дорогі, тому актуальним є застосування CFD-технологій для віртуального прогнозування зон зносу [1].

Матеріали і методи. Дослідження проведено на моделі U-подібної трубки витратоміра Коріоліса. Геометричну модель створено в Autodesk Inventor та імпортовано в Autodesk CFD. Граничні умови: швидкість на вході 40 м/с, тиск на виході 0 Па. Генеровано адаптивну кінцево-елементну сітку з ущільненням у зонах зміни напрямку потоку. Для моделювання ерозії використано емпіричну модель Едвардса/Тусли ER=AFs Fθ Vn, де A=15,59B-0,59×10-7 (B- твердість за Брюнелем 120 для вуглецевоїсталі), Fs –фактор форми частинок, Fθ — залежність від кута атаки, n = 1,73. Враховано інерцію масових частинок (щільність 2705 кг/м³, радіус 0,3556 мм), коефіцієнт відновлення 0,5 та силу тяжіння.

Результати. Моделювання показало характерний розподіл швидкості потоку в згинах трубки. Траєкторії масових частинок відхиляються від ліній току через інерцію та вдаряються об стінки, особливо в місцях повороту. Скалярне поле швидкості ерозії (Erosion Rate) виявило максимальні значення на внутрішніх поверхнях згинів трубки, де частинки ударяються під оптимальними кутами атаки (20–40°). У цих зонах значення ER перевищує середнє по поверхні в 3–5 разів. У зовнішніх стінках вигинів ерозія практично відсутня. Візуалізація трасування частинок та прозорий режим моделі підтверджують локалізацію максимального зносу саме в нижній частині внутрішнього радіуса вигину, що повністю відповідає реальним фото пошкоджених труб витратомірів Коріоліса (рис. 1). Отримані результати дозволяють кількісно оцінити інтенсивність ерозії залежно від швидкості потоку та властивостей частинок.

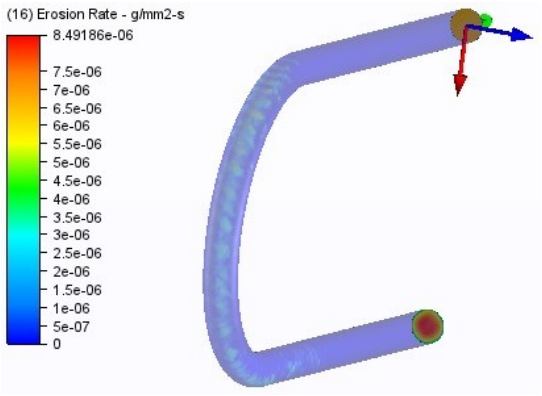


Рис. 1. Скалярне поле швидкості ерозії.

Висновки. CFD-моделювання в Autodesk CFD ефективно прогнозує зони ерозійного зносу без проведення натурних випробувань. Отримані результати дозволяють оптимізувати конструкцію обладнання для підвищення його надійності та терміну служби.

Література

1. Parsi M., Agrawal M., Srinivasan V. et al. CFD simulation of sand particle erosion under multiphase flow conditions // Wear. – 2017. – Vols. 376–377. – P. 1176–1184. DOI: 10.1016/j.wear.2016.12.021

Оптимізація режимів роботи перемішуючих пристроїв у процесі кристалізації лактози в молочній сироватці

Дмитро Покрасьон, Юрій Вересоцький
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Молочна сироватка є цінною вторинною сировиною для харчової промисловості. Якість сухої сироватки та термін її зберігання безпосередньо залежать від процесу кристалізації лактози. Ключовим фактором отримання кристалів розміром до 20 мкм є інтенсифікація тепломасообмінних процесів у кристалізаторах, що досягається шляхом удосконалення конструкції та режимів роботи перемішуючих пристроїв.

Методи досліджень. Сучасні процеси для уварювання кондитерських мас використовують теплообмінники ротаційного типу. Необхідність удосконалення теплообмінників полягає в покращенні процесу перемішування, що в свою чергу впливає на збільшення продуктивності теплообмінника та зменшенні енерговитрат. Об'єктом дослідження є процес охолодження та кристалізації згущеної сироватки (вміст сухих речовин 55%) у кристалізаторі об'ємом 12м^3. Моделювання гідродинамічних та теплових процесів проводилося за допомогою програмного комплексу Solid Simulation, що дозволяє візуалізувати тривимірні потоки рідини та розрахувати швидкість теплопередачі в приграничному шарі.

Результати і обговорення. Проведено порівняльний аналіз мішалок діаметром від 1700 до 2100 мм (діаметр апарата — 2170 мм). Встановлено, що оптимальним є діаметр мішалки 2075 мм. Це забезпечує максимальну теплопередачу в приграничному шарі, дозволяючи досягти цільової температури 15°C на 150 секунд швидше, ніж при використанні стандартного заводського обладнання (d=1900 мм).

Досліджено вплив кутової швидкості в діапазоні 5–20 об/хв. Встановлено найвищу ефективність при швидкості 16 об/хв (1,67 рад/с). За такого режиму температура охолодження досягла заданого показника за 2970 секунд, забезпечуючи рівномірний розподіл центрів кристалізації.

Порівняння прямокутного, трапецеїдального та овального профілів підтвердило перевагу стандартного прямокутного профілю для забезпечення необхідної турбулізації потоку біля охолоджувальних стінок.

Висновки. Оптимізація параметрів роботи перемішуючих органів дозволяє інтенсифікувати процес охолодження за рахунок руйнування приграничного теплового шару.

Запропоновані зміни дозволяють скоротити енерговитрати на цикл обробки та підвищити загальну продуктивність станції кристалізації.

Література

1. Wong, S. Y., & Hartel, R. W.). Crystallization in Food Processing. In Encyclopedia of Food Grains (pp. 315-323). Academic Press. 2014
2. Matsson, J. E. An Introduction to SolidWorks Flow Simulation. SDC Publications. 2023
3. Грець О. В., Назаренко Ю. В., Богдан М. М. Технологія продуктів з молочної сироватки: інноваційні аспекти та обладнання. Київ : НУХТ, 2021. 214 с.

Підвищення ефективності процесів очищення повітря в сушильних установках барабанного типу шляхом використання мокрих пиловловлювачів

Андрій Черкесенко, Іван Мороз-Всеволодський, Юрій Вересоцький
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Традиційні системи очищення повітря на цукрових заводах переважно базуються на апаратах сухого типу (циклонах). Однак їхня ефективність є недостатньою для вловлювання дрібнодисперсних фракцій, що призводить до втрат готового продукту до 5%. Окрім економічних збитків, значні викиди цукрового пилу погіршують екологічний стан довкілля. Тому модернізація ліній сушильного відділення шляхом встановлення додаткових «мокрих» пиловловлювачів (скруберів) є актуальним завданням.

Методи досліджень. Оскільки конвективний метод залишається найбільш раціональним для сушіння цукру, критичного значення набуває підвищення ККД сушильних установок. Значні об'єми відпрацьованого повітря, що проходять крізь типові циклони, все ще містять дрібнодисперсну фракцію цукрового пилу. Це свідчить про низьку сепараційну здатність традиційного сухого устаткування та необхідність впровадження більш ефективних методів очищення.

Об'єктом дослідження було обрано процес очищення відпрацьованого теплоносія після конвективного сушіння цукру. У роботі використано метод математичного моделювання гідродинамічних процесів у системі Solid Simulation. Досліджувався контакт пилоповітряної суміші з рідиною в крапельному режимі, що теоретично дозволяє підвищити ступінь очищення до 99,97%.

Результати та обговорення. У ході моделювання було проаналізовано зміну швидкості руху частинок всередині скрубера залежно від:

- геометричних параметрів сопла апарата;
- швидкості вхідного потоку теплоносія.

Завдяки візуалізації потоків встановлено поля граничних концентрацій пилоповітряної суміші в різних перерізах скрубера. Це дозволило визначити зони найбільшої турбулентності та оптимальні точки контакту фаз для максимального вловлювання пилу. Основними результатами досліджень є підвищення ступені очищення 99,97%, зменшення втрат цукру з 5% до мінімальних значень, визначено залежність виносу частинок від конструктивних особливостей вихідного патрубка.

Висновки. На основі дослідження механічних та аеродинамічних властивостей цукру-піску отримано характеристики зміни концентрації пилоповітряної суміші у вихідному патрубку скрубера. Результати моделювання дозволили встановити оптимальні режими роботи обладнання, що забезпечують баланс між мінімальним гідродинамічним опором та максимальною ефективністю очищення.

Література

1. Безлюдько М. М., Шерстюк Р. В. Очищення газових викидів цукрових заводів від дрібнодисперсного пилу. Наукові праці НУХТ. 2018. Т. 24, № 5. С. 142–148.
2. Губін В. В., Дорошенко О. В. Моделювання гідродинамічних процесів у мокрих пиловловлювачах засобами CFD-аналізу. Енерготехнології та ресурсозбереження. 2021. № 2. С. 45–53.
3. Зайцев О. В. Удосконалення процесів сепарації пилу в апаратах мокрого очищення газів. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2019. № 3. С. 12–19.
4. He Z., Li J., Yang X. Optimization of Venturi scrubber performance using computational fluid dynamics (CFD). Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2020. Vol. 65. P. 104–112.

Удосконалення зерноочисного сепаратора типу БСХ

Дар'я Грищенко, Дмитро Люлька, Віталій Пономаренко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Актуальність теми зумовлена необхідністю інтенсифікації післязбиральної обробки зерна для зниження втрат при зберіганні. Метою дослідження є підвищення ефективності сепарації шляхом конструктивного вдосконалення решітного кузова.

Матеріали і методи. У сучасних умовах ефективність очищення зерна стає визначальним фактором економічної стабільності підприємства, оскільки втрати якості під час зберігання нівелюють всі здобутки на етапі вирощування.

Об'єктом дослідження є зерноочисний сепаратор БСХ. Використано методи системного аналізу технологічного потоку та експериментальні випробування модернізованого вузла з додатковим ситовим ярусом при очищенні пшениці вологістю 18%.

Результати та обговорення. Зерноочисні сепаратори типу БСХ є однією з найпоширеніших машин на елеваторах та борошномельних заводах України. Його популярність зумовлена відпрацьованою конструкцією, високою ремонтопридатністю та універсальністю щодо оброблюваних культур. Машина розрахована на роботу у двох основних режимах: попереднє очищення (елеваторний режим) та остаточне очищення (млиновий режим).

Аналіз роботи стандартного сепаратора виявив обмеження ефективності на рівні 60…65%. Запропоновано встановлення додаткового приймального сита перед основним сортувальним ярусом для попереднього відбору великих домішок. Попереднє очищення дозволяє не тільки знизити фізіологічну активність маси, але й суттєво полегшити подальші операції, зокрема сушіння. Видалення великих домішок покращує сипучість матеріалу, знижує ризик виникнення пожеж у сушильних агрегатах, покращує якість висушування зерна.

Досвід експлуатації модернізованих машин показує, що для кожної агрокліматичної зони налаштування сепаратора повинні бути індивідуальними. Наприклад, у південних регіонах, де зерно часто пересушене, важливо зменшувати частоту коливань для запобігання травмуванню оболонки, тоді як у вологих північних зонах інтенсивність вібрації має бути максимальною для подолання сил когезії між вологими частинками.

Встановлено, що при кругових коливаннях кузова з радіусом 11 мм та частотою 6,25 $с^{-1}$ така конфігурація дозволяє підвищити загальну ефективність очищення до 80%. Це досягається за рахунок розвантаження робочої поверхні сортувальних сит від великих включень, що покращує проникність зернового шару.

Таким чином, оптимізація аеродинамічного режиму в пневмоканалі дозволяє знизити винесення повноцінного зерна у відходи до рівня <0,15%.

Успішна модернізація сепаратора відкриває шлях до подальшої оптимізації зерноочисних систем. Важливим аспектом є дослідження впливу форми отворів сит на повноту розділення. На сьогодні використовуються три типи отворів: круглі (для розділення за шириною), довгасті (за товщиною) та трикутні (для виділення насіння гречки та інших гранчастих культур).

Висновки. Модернізація решітного стану зерноочисного сепаратора типу БСХ забезпечує приріст ефективності сепарації на 15…20%. Новизна роботи полягає в обґрунтуванні багатоступеневої схеми розділення в межах одного віброкузова, що рекомендовано для впровадження на елеваторах млинового типу.

Інтенсифікація екстрагування сахарози в дифузійних апаратах за допомогою низькочастотних коливань

Дмитро Люлька, Віталій Пономаренко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Рушійною силою будь-якого масообмінного процесу є різниця (градієнт) концентрацій. У разі гетерогенного процесу масоперенесення здійснюється не лише усередині фази, але і через межу розділу фаз. В цьому випадку інтенсифікація дифузії можлива при турбулізації зовнішнього потоку при накладанні пульсацій.

Матеріали і методи. Використано аналітичні методи опису дифузійного процесу на основі закону Дарсі (фільтрування соку в порах стружки) з врахуванням стисливості шару стружки при накладанні низькочастотних пульсацій.

Результати та обговорення. Для побудови математичної моделі процесу стискання сокостружкової суміші зроблено такі припущення: шар бурякової стружки повністю насичений екстрагентом, стан якого в порах вважається вільним, нестисливим і гідравлічно безперервним; шар стружки приймається лінійно деформованим: напруження, які виникають в ньому миттєво викликає його переміщення; шар стружки не структурований і зовнішній тиск, який прикладається до неї, миттєво повністю передається на сік; фільтрація соку в порах шару стружки підпорядковується закону Дарсі.

За таких припущень зовнішній тиск, що прикладений до виділеного об'єму сокостружкової суміші складає:

$$P = P_{П} + P_{C}, \tag{1}$$

де $P_{П}$ – надлишковий тиск екстрагента в порах;

P_{C} – пульсаційний тиск, який створюється рухомими лопатями дифузійного апарату на бурякову стружку.

За законом фільтрації Дарсі витрата соку вздовж осі x для випадку направленого руху соку отримаємо:

$$q = -k_{\Phi} \cdot \frac{\partial H}{\partial x}, \tag{2}$$

де k_{Φ} – коефіцієнт фільтрації;

H – тиск в соці.

Базуючись на даних базових рівняннях стану сокостружкової суміші та з врахуванням стисливості шару отримаємо аналітичне рішення задачі ущільнення шару сокостружкової суміші, що дозволяє виявити вплив ряду чинників на процес розподілу тиску в шарі і процес фільтрації екстрагента через шар стружки:

$$P_{C}(x,t) = P \cdot \left(1 - \frac{4}{\pi} \cdot cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{h}\right) \cdot e^{-\frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{a \cdot t}{h^2}}\right). \tag{3}$$

З даного рівняння знайдено закон розподілення тиску P_c від часу для будь якого фіксованого перерізу шару суміші. Крім того можливо знайти швидкість фільтрації соку для будь якого перерізу в будь який проміжок часу. Щоб визначити витрату соку (об'ємну швидкість фільтрації) необхідно рівняння (3) диференціювати по x. В результаті отримаємо:

$$q = \frac{k_{\Phi}}{\rho_{\Pi}} \cdot P \cdot \frac{2}{h} \cdot sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot h} \cdot x\right) \cdot e^{-\frac{\pi^2 \cdot a}{4 \cdot h^2} \cdot t}. \tag{4}$$

Висновки. Результати математичного моделювання фільтраційної здатності шару дозволяють провести профілізацію робочої поверхні елементів транспортних систем.

Модернізація масло утворювача марки Т1-ОМ-2Т для інтенсифікації процесу перетворення високо жирних вершків.

Віктор Титаренко, Іван Миколів

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Підприємства молочної промисловості випускають широкий асортимент різних видів вершкового масла - традиційного складу, з комбінованою жировою фазою і з низьким вмістом жиру. Технологічне обладнання для виробництва вершкового масла повинно забезпечувати отримання масла високої якості незалежно від особливостей технології виробництва

Матеріали і методи. Об'єктом для досліджень став трьох циліндровий масло утворювач. Для визначення надійності та довговічності роботи робочої пари (скребки - циліндр) використовували різні матеріали та методи термообробки і нанесення покриття на зовнішню поверхню.

Результати і обговорення. У технологічних лініях виробництва вершкового масла безперервним методом перетворення високо жирних вершків відбувається в циліндричних масло утворювачах різних конструкцій. Трьох циліндровий масло утворювач призначений для виробництва всіх видів вершкового масла методом перетворення високо жирних вершків, а також для отримання спредів методом переохолодження емульсії. Отримання масла з високо жирних вершків в даному масло утворювачі складається з процесів охолодження вершків, дестабілізації вершків і кристалізації гліциридів, а також їх механічної обробки.

Модернізація подібного масло утворювача необхідна в зв'язку з рядом причин: низька продуктивність праці, мала рентабельність виробництва масла, інтенсивний знос деталей і вузлів внутрішнього барабана, постійне зменшення ефективності експлуатації апарату, а також для підвищення продуктивності масло утворювача і інтенсифікації тепло масообміну. Високоефективне проведення в потоці технологічних операцій виробництва масла залежить від запропонованих конструктивних рішень пристроїв для зрізання охолоджених вершків з внутрішньої поверхні циліндрів масло утворювача. Модернізація трьох циліндрового масло утворювача передбачала заміну матеріалу, з якого виготовляються наконечники скребків і проведення термообробки поверхні внутрішнього циліндра витіснювального барабана масло утворювача.

В результаті дослідження, які проводилися у виробничих умовах, було встановлено, що поломка наконечників скребків з «Поліаміду - 68» відбувається приблизно один раз в 14 змін, незалежно від режиму роботи масло утворювача. Під дією тиску продукту, температури і тривалості роботи, - наконечники скребків інтенсивно зношуються. Внутрішній циліндр масло утворювача стандартного виготовлення виготовлений з матеріалу - сталь 12Х18Н10Т.

Висновки. В результаті запропонованої модернізації трьох циліндрового масло утворювача можна зробити висновки, що при застосуванні в роботі зміненої пари (скребки - циліндр) сталь 40Х13 - циліндр 12Х18Н10Т Хтв24 - підвищилася інтенсивність теплообміну на 20 ... 25%, при цьому вихідна продуктивність збільшилася на 5 ... 10%, а також зросла надійність та довговічність роботи робочої пари. Тривалість роботи скребків зі сталі 40Х13 в порівнянні з «Поліаміду - 68» збільшилася в 6 разів.

Підвищилася інтенсивність теплообміну за рахунок охолодження продукту в тонкому шарі, зросли техніко-економічні показники роботи технологічної лінії, а саме підвищилася продуктивність, знизилися виробничі та енерговитрати.

Визначення положення прямої, що проходить через задану точку простору та дві прямі, що схещуються

Матвій Лобачов, Вадим Серпученко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Існує така група задач, де шукані елементи визначаються за допомогою допоміжного елемента-посередника, що проходить крізь два заданих елемента та перетинає третій.

Матеріали і методи. При розв'язанні подібних задач застосовується метод введення площини-посередника, що міститиме в собі певні частини заданих елементів.

Результати. Уявляємо (рис. 1), що задана точка *A* і пряма *c* знаходяться в одній площині. Для зручності розв'язку задачі у цій площині проведемо два відрізки *AD* та *AE*, задавши точки *D* та *E* довільно на прямій *c*. Тобто $\Delta\ (A, c) \equiv \Delta\ (\Delta ADE)$.

Визначимо точку перетину побудованої площини Δ і заданої прямої *b* методом введення допоміжної проєціюючої площини-посередника Σ.

Задамо фронтальну проєкцію фронтальнопроєціюючої площини Σ так, щоб вона містила в собі пряму *b*.

$$\Sigma \perp \Pi_2;\ b \in \square\Sigma \rightarrow \Sigma_2 \equiv \square b_2$$

Площина Σ, перетинаючи площину Δ (ΔADE), утворює пряму *1 2. Оскільки отримана пряма 1 2 та задана пряма b знаходяться у одній площині Σ, то вони перетинаються у точці K. Отже, точки A і K та пряма 1 2 знаходяться у одній площині. Тепер ми можемо через точки A і K провести шукану пряму, яка перетинає пряму c у точці L.*

Цю задачу також можна розв'язати методом заміни площин проєкцій, встановивши допоміжну площину проєкцій перпендикулярно до однієї з заданих прямих.

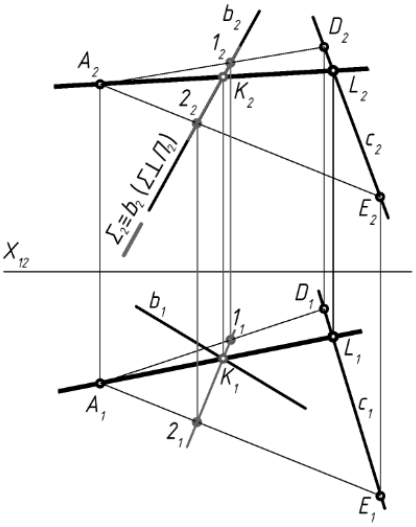


Рис. 1

Висновки. Якщо потрібно провести пряму крізь точку і дві схрещувані прямі, то введенням допоміжної проєціюючої площини можна легко визначити другу точку, що належатиме шуканій прямій.

Особливості моделювання масової кристалізації сахарози

Тарас Погорілий, Валерій Мирончук

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. В зв'язку з важким, особливо в останній час, становищем в економічній та енергетичній сферах України, гостро постає проблема по зменшенню використання енергоресурсів. В цукровій промисловості найбільш енерговитратним є продуктове відділення.

Матеріали та методи. З метою ефективнішого керування процесом уварювання цукрового утфелю необхідно створити математичну модель, яка найбільш повно описуватиме даний процес. При створенні математичної моделі виникає потреба одночасно врахувати велику кількість технологічних (для розчину сахарози: чистота Ч, вміст сухих речовин СР, вміст сахарози Сх; для цукрового утфелю: чистота Ч, вміст сухих речовин СР, масовий вміст кристалів цукру КР), гідродинамічних (швидкість руху утфелю u, в'язкість μ, тиск p), теплофізичних (для цукрового утфелю, розчину сахарози та кристалів цукру: коефіцієнт теплопровідності λ, коефіцієнт теплоємності c, густина ρ), масообмінних факторів (коефіцієнт дифузії міжкристального розчину сахарози D), а також нестаціонарність таких процесів, постає необхідність в проведенні певних спрощень.

На першому етапі проведення математичного моделювання було розглянуто особливості розподілу темпартур в прошарку утфелю, від нагрівної стінки гріючої трубки до вісі сисметрії такої труки, який був виділений між двома площинами, нормалі до яких були направленно вздовж вісі нагрівної трубки гріючої камери вакуум-апарата. Товщина виділеного прошарку вибиралась достатньо малою. Задача розглядалась осесиметричною.

На другому етапі розглянуто особливості розподілу температур за умови віделення певної обмеженої області в утфелі, що представляла собою область парової фази, область міжкристального розчину сахарози та область кристала цукру.

На третьому етапі проведення математичного моделювання розглянуто особливості розподілу температур від нагрівної стінки гріючої трубки до вісі сисметрії труки за умови, що в області утфелю, який контактував із нагівною стінкою гріючої трубки було виділено область парової фази, область міжкристального розчину сахарози, область кристала цукру та безпосередньо область утфелю. В даному випадку задача, як і в першому випадку, також розглядалась осесиметричною.

Зауважимо що на кожному етапі математичного моделювання процес теплообміну розглядався нестаціонарним, тобто таким, що залежав від часу t.

Результати. Результати проведених досліджень процесу теплопровідності для наведених етапів математичного моделювання в гріючій трубці нагрівної камери вакуум-апарата дало змогу визначити розподіл температур в виділеному прошарку утфелю, за умови, коли в утфелі не було виділено відокремлених областей і розглянута область утфелю мала усереднені теплофізичні характеристики повсій довжині та за умови виділення таких областей (область парової фази, область міжкристального розчину сахарози та область кристалу цукру) з наданням їм відповідних теплофізичних характеритик.

Висновки. Реалізовано наступний етап проведення математичного моделювання нестаціонарного процесу теплообміну в цукровому утфелі в нагрівній трубці гріючої камери вакуум-апарата.

Дослідження процесів гідродинаміки та теплообміну в гріючій трубці нагрівної камери вакуум-апарата

Вадим Адаменко, Тарас Погорілий
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. В силу досить важкого і навіть критичного в останній час економічного становища в сфері енергетики України, життєво необхідним є вирішення проблеми по зменшенню використання енергоресурсів. В цукровій промисловості найбільш енергозатратним є продуктове відділення. Вирішенню цієї проблеми присвячена робота.

Матеріали та методи. Розроблено алгоритм проведення дослідження процесів гідродинаміки та телообміну в модернізованій гріючій камері вакуум-апарата під час масового уварювання цукрового утфеля, котрий базується на розв'язку системи рівнянь неперервності (1), руху (2) та рівняння енергії (3):

$$\frac{1}{r}\frac{\partial(ru_r)}{\partial r}+\frac{\partial u_z}{\partial z}=0 \tag{1}$$

$$\rho\left(u_r\frac{\partial u_z}{\partial r}+u_z\frac{\partial u_z}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial z}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r(\mu+\mu_t)\frac{\partial u_z}{\partial r}\right) \tag{2}$$

$$\rho c_p\left(u_r\frac{\partial T}{\partial r}+u_z\frac{\partial T}{\partial z}\right)=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\left(\lambda+\frac{\mu_t}{\mathrm{Pr}_t}\right)\frac{\partial T}{\partial r}\right) \tag{3}$$

На першому етапі проводилось дослідження лише процесу гідродинаміки утфелю в базовій нагрівній трубці гріючої камери вакуум-апарата (рис. 1, 2). З цією метою було створено 3D-моделі базової та модернізованої трубки гріючої камери вакуум-апарата. Розрахунок за (1)–(3) включає в себе спряжену задачу розрахунку процесу гідродинаміки та процесу теплообміну. В силу складності чисельного рішення з врахуванням всіх нагрівних трубок було прийнято спрощення та проведено математичне моделювання процесу гідродинаміки утфелю лише однієї гріючої трубки (рис. 1), яка на кінцях має шестигранний вигляд.

Результати. Результати проведених досліджень процесу гідродинаміки отриманого у вигляді розподілу поля швидкостей (рис. 3) в гріючій трубці нагрівної камери вакуум-апарата.

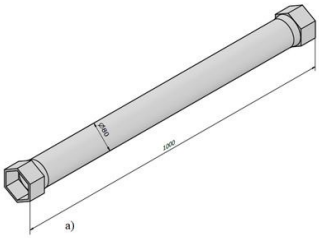


Рис. 1

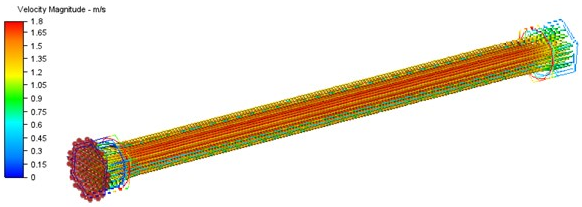


Рис. 2

Як видно з отриманих результатів (рис. 3), встановлено, що після входу рідини в трубку формується вхідна ділянка, де профіль швидкості вирівнюється під дією в'язкості.

Висновки. Здійснено перший етап проведення математичного моделювання гідродинаміки цукрового утфелю в нагрівній трубці гріючої камери вакуум-апарата.

Section 14

Mechatronics and packaging technique

Секція 14

Мехатроніка і пакувальна техніка

Digital Twin and IIoT-Based Control of a Hybrid Dosing-Packaging Module Using Matlab Simulink

Denis Gaiduchek, Volodymyr Kostin
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The increasing integration of the Industry 4.0 principles in food processing machines requires the integration of real equipment with digital simulation and cloud-based analytical systems. Hybrid mechatronic dosing-packaging modules, particularly those utilizing electro-pneumatic actuation, provide flexible and precise control of liquid dosing processes. However, ensuring high accuracy and stability under varying operational conditions remains a challenging process due to nonlinear interactions between pressure, flow rate, and product characteristics.

The approach to address these challenges is the implementation of a digital twin, which combines real equipment, mathematical modeling, and cloud connectivity into a single system. This abstract represents the development of a hybrid dosing module integrated with a mathematical model in MATLAB Simulink and extended with MQTT-based communication for real-time interaction between physical and virtual components.

Materials and Methods. The research object is a hybrid mechatronic dosing-packaging module designed for liquid products. A mathematical model of the system was developed in the Simulink environment using block-oriented physical modeling within MATLAB Simulink. The model incorporates gas and liquid subsystems, including pressure sources, pipelines, tanks, and control elements. The model is built in a modular way, which makes it easy to adjust system parameters and analyze both changing conditions over time and stable operating states.

To enable IIoT integration, MQTT communication was implemented for bidirectional data exchange between the physical module, the Simulink model, and cloud infrastructure. Native MQTT support in the MATLAB ecosystem was introduced through the Industrial Communication Toolbox, enabling seamless embedding of publish/subscribe mechanisms into simulation workflows.

The utilized MQTT functionality supports standard publish/subscribe architecture, allowing real-time transmission of process variables such as pressure, flow rate, and volume to a cloud-based broker, as well as receiving of control commands and parameter updates from external cloud analytical systems. Within the Simulink environment, MQTT communication blocks is integrated directly into signal chains, enabling conversion of physical signals into serialized data streams and vice versa.

This architecture establishes a closed-loop interaction between physical and digital components. Sensor data from the experimental setup are transmitted to the cloud and simultaneously used to update the digital twin model, while control signals generated either in the cloud or within the simulation environment are applied back to the physical system. As a result, the proposed approach enables real-time synchronization, monitoring, and adaptive control of the dosing process within a unified cyber-physical system framework.

Results and Discussion. The developed mathematical model demonstrates a high degree of virtual integration with the physical setup. The integration of MQTT communication enables real-time synchronization between the physical module, its digital twin or accompanying subsystems. This allows continuous monitoring of process parameters and dynamic adjustment of control strategies. The system can respond to deviations between simulated and measured data, improving robustness and enabling adaptive control. Furthermore, the combined architecture enhances accuracy capabilities by identifying inconsistencies between the physical process and its virtual representation.

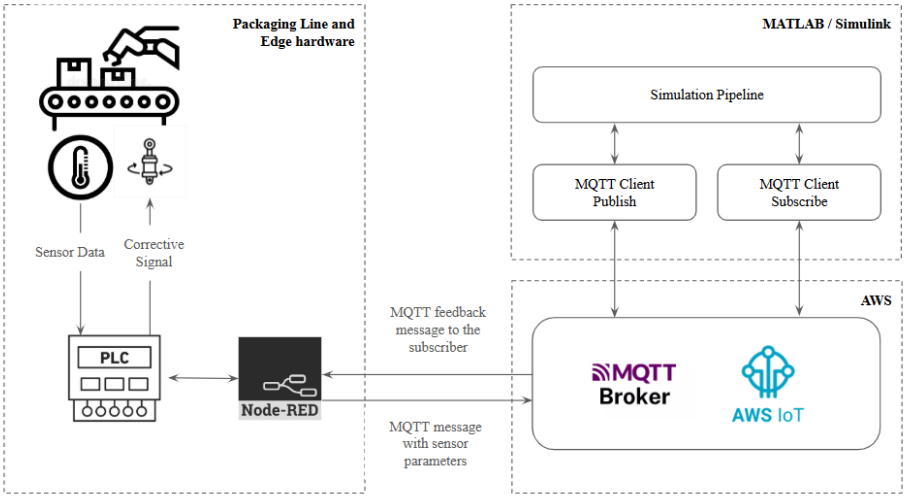


Fig. 1. Architecture of the hybrid IIoT solution

Conclusion. The proposed approach demonstrates the effectiveness of integrating real equipment, Simulink-based mathematical modeling, and cloud-based infrastructure into a unified digital twin framework. The developed system improves dosing accuracy, adaptability, and monitoring capabilities of hybrid mechatronic packaging modules. The results confirm that combining physical experimentation with model-based design and IIoT technologies provides a scalable solution for modern packaging systems. Future work will focus on extending and implementing advanced data-driven optimization methods within the cloud environment.

Optimization of parameters for adaptive electro-pneumatic control of a product conveyor system for a food product dosing module

Oleksandr Zaporozhets, Liudmyla Kryvoplyas-Volodina
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. Improving the accuracy of liquid food product dosing is a pressing challenge in modern production. The use of proportional pneumatic valves in product lines is accompanied by nonlinear effects: hysteresis (5–7%), deadband, and response delays (up to 2.5 ms). Traditional PID controllers do not provide the necessary pressure stability when the product density or flow rate changes.

Research methods. Mathematical modeling of the dynamics of a pneumatic system, taking into account valve nonlinearities. Experimental study of transient processes on a laboratory test bench with recording of pressure, flow rate, and time characteristics.

Results and discussion. An adaptive control system for the product pipeline of the dosing module was developed based on a Siemens SIMATIC PLC with a built-in PID controller (24 V DC power supply, 4–20 mA analog channels). A proportional pneumatic valve (AP) with a repeatability of ±5% and a hysteresis of <5–7% was used for pressure control. The adaptive control algorithm implements two control laws: sinusoidal and cosinusoidal. The cosine law ensures a stable particle transport velocity of 7.75 m/s while reducing acceleration from 150 to 112.5 m/s² (by 25%). The use of an extended state observer (ESO) allows for real-time compensation of external disturbances.

Mathematical modeling of the relationships between the main parameters of two-phase flow (flow rate, density, mass, pressure) in a pneumatic conveying system is based on an analysis of the kinematic and dynamic properties of the medium, which are determined by its rheological characteristics. Experimental studies were conducted for various modes of vertical transport of bulk materials: dried peppercorns and granulated cereal products (dry breakfast cereals).

The pneumatic phase was generated by converting a 4–20 mA analog signal into pulse-width modulation (PWM). The measurement and control system included: electronic pressure relays, compressed air flow meters, a Siemens SIMATIC PLC, and AR series proportional pneumatic valves. The system implements pulse-adaptive control of compressed air supply through a cascade: a PWM driver, a solenoid valve, and a pressure booster. The goal is to ensure high-precision product dosing with minimal errors in speed and flow rate.

The experimental basis for the study was the performance characteristics of industrial dosing systems, which made it possible to test the proposed approaches aimed at improving the accuracy and stability of dosing under industrial conditions. To optimize the parameters of the adaptive electro-pneumatic control of the product line in a food dosing module, the following research objectives were defined:

– to conduct a comprehensive analysis of the dynamic processes of pressure dosing, taking into account that the most effective application of the developed methods is in valve-less pressure dosing systems to reduce cumulative error during transient processes;

– to substantiate the technical and software characteristics of solutions that ensure the implementation of comprehensive methods for optimizing dynamic parameters and the construction of adaptive systems aimed at improving the precision and fault tolerance of the dosing process.

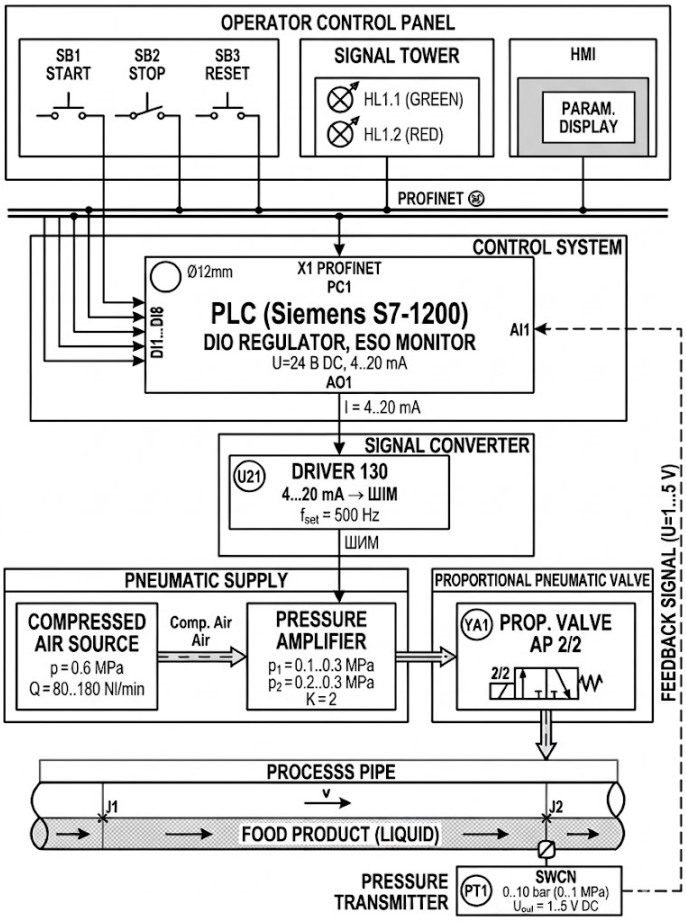


Fig. 1. Functional diagram of the adaptive product line control system: HMI; SIMATIC PLC; Driver 130; 2/2-way control valve; Amplifier; Product line; SWCN (feedback). The PROFINET channel facilitates data exchange between the HMI and the PLC.

Conclusion. The developed adaptive electro-pneumatic control system ensures a dosing accuracy of 0.8–1.2% with a repeatability of ±0.45%, which meets the requirements of the food industry. Reducing the dead zone by 25–30% and the transient response time to 0.15–0.4 s increases line productivity. The economic benefit is achieved by reducing product losses and compressed air consumption. The system can be scaled for multi-channel dosing modules.

References.

1. Gavva O., etc. (2024) Modelling of hydrodynamic phenomena in valve feeders of adaptron modules for dosing liquid products // Ukrainian Food Journal. — Vol. 13, No. 3. – P. 427–449. – DOI: 10.24263/2304-974X-2024-13-3-3. https://surl.lt/dhygwv
2. Zhang, X., Lin, Z., Li, J., Zhang, T. (2023). Pneumatic pressure control based on improved NMPC and its application to aeroengine surge simulation. Chinese *Journal of Aeronautics*, 36(4), 468–485. DOI: 10.1016/j.cja.2022.12.019.

Biopolymers and cellulose substrates for printed nfc electronics in packaging

Vladyslav Baltazhy, Serhii Tokarchuk
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The aim of this study is to identify the patterns of how the properties of cellulose substrates affect the functionality of printed NFC antennas for smart packaging. This is necessary to ensure environmental sustainability and the development of biodegradable electronic identification systems throughout the life cycle of consumer packaging.

Materials and Methods. The electrical characteristics were evaluated based on the series resistance and inductance parameters in accordance with ISO 14443. A profilometer with a diamond-tipped probe was used to measure surface roughness; air permeability was determined using the Gerli method (ISO 5636/3), and surface moisture absorption was determined using an edge goniometer. Statistical analysis of the results was performed using one-way analysis of variance.

Results and Discussion. Experimental results show that the optimal electrical characteristics of NFC antennas are achieved when using paper substrates with low surface roughness (Ra < 2 μm) and low air permeability (less than 40 mL/min). The global market for NFC-enabled packaging is currently estimated at $5.87 billion and is projected to grow to $19.22 billion by 2034, with a CAGR of 12.47%.

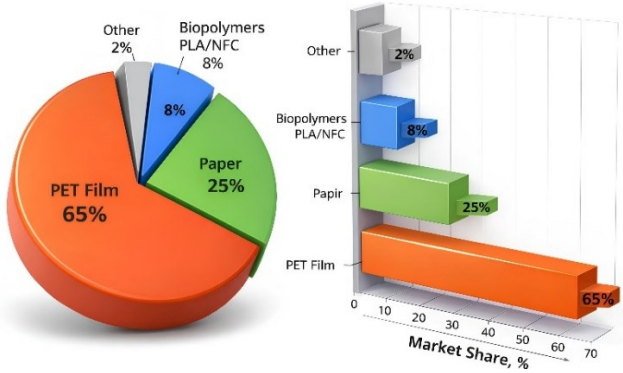


Figure 1. Breakdown of materials for NFC tags (statistical analysis for 2025)

An analysis of the distribution of materials for NFC labels shows that PET film accounts for 65% of the market, paper substrates for 25%, biopolymers (PLA, nanocellulose) for 8%, and others for 2% (see Fig. 1). It has been established that the adoption of NFC technologies by industry sector is as follows: food industry—35%, pharmaceuticals—25%, luxury goods—20%, electronics—12%, and others—8%. For one million standard NFC labels (80×45 mm), replacing PET film with a paper substrate reduces plastic resin consumption by 110 kg, representing a 100% reduction in plastic waste. Additional savings from switching to cellulose substrates include a 65% reduction in CO_2 emissions and an increase in recyclability to 95%.

Conclusions. The use of cellulose substrates instead of PET films is a promising approach for creating biodegradable NFC labels with equivalent communication characteristics. Paper substrates offer the additional advantage of protection against fraudulent removal due to the material's brittleness when an attempt is made to remove the label. The results of this study can be used in the design of eco-friendly identification systems for smart packaging of food, pharmaceutical, and branded products.

Digital Twin and IIoT-Based Control of a Hybrid Dosing-Packaging Module Using Matlab Simulink

Denis Gaiduchek, Volodymyr Kostin
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The increasing integration of the Industry 4.0 principles in food processing machines requires the integration of real equipment with digital simulation and cloud-based analytical systems. Hybrid mechatronic dosing-packaging modules, particularly those utilizing electro-pneumatic actuation, provide flexible and precise control of liquid dosing processes. However, ensuring high accuracy and stability under varying operational conditions remains a challenging process due to nonlinear interactions between pressure, flow rate, and product characteristics.

The approach to address these challenges is the implementation of a digital twin, which combines real equipment, mathematical modeling, and cloud connectivity into a single system. This abstract represents the development of a hybrid dosing module integrated with a mathematical model in MATLAB Simulink and extended with MQTT-based communication for real-time interaction between physical and virtual components.

Materials and Methods. The research object is a hybrid mechatronic dosing-packaging module designed for liquid products. A mathematical model of the system was developed in the Simulink environment using block-oriented physical modeling within MATLAB Simulink. The model incorporates gas and liquid subsystems, including pressure sources, pipelines, tanks, and control elements. The model is built in a modular way, which makes it easy to adjust system parameters and analyze both changing conditions over time and stable operating states.

To enable IIoT integration, MQTT communication was implemented for bidirectional data exchange between the physical module, the Simulink model, and cloud infrastructure. Native MQTT support in the MATLAB ecosystem was introduced through the Industrial Communication Toolbox, enabling seamless embedding of publish/subscribe mechanisms into simulation workflows.

The utilized MQTT functionality supports standard publish/subscribe architecture, allowing real-time transmission of process variables such as pressure, flow rate, and volume to a cloud-based broker, as well as receiving of control commands and parameter updates from external cloud analytical systems. Within the Simulink environment, MQTT communication blocks is integrated directly into signal chains, enabling conversion of physical signals into serialized data streams and vice versa (Fig. 1).

This architecture establishes a closed-loop interaction between physical and digital components. Sensor data from the experimental setup are transmitted to the cloud and simultaneously used to update the digital twin model, while control signals generated either in the cloud or within the simulation environment are applied back to the physical system. As a result, the proposed approach enables real-time synchronization, monitoring, and adaptive control of the dosing process within a unified cyber-physical system framework.

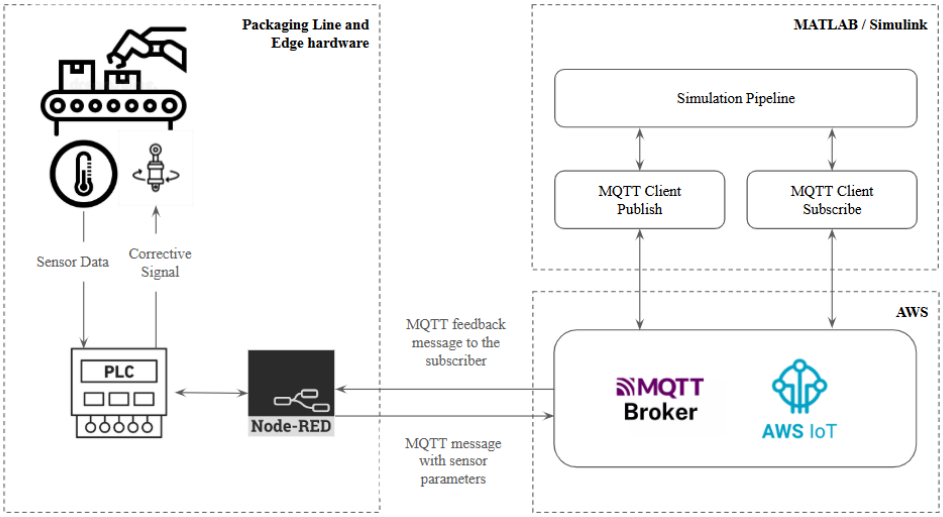


Fig. 1. Architecture of the hybrid IIoT solution

Results and Discussion. The developed mathematical model demonstrates a high degree of virtual integration with the physical setup. The integration of MQTT communication enables real-time synchronization between the physical module, its digital twin or cloud subsystems. This allows continuous monitoring of process parameters and dynamic adjustment of control strategies. The system can respond to deviations between simulated and measured data, improving robustness and enabling adaptive control. Furthermore, the combined architecture enhances accuracy capabilities by identifying inconsistencies between the physical process and its virtual representation.

Additionally, the proposed architecture provides a scalable foundation for further extension toward cloud-based analytics and edge computing. By enabling bidirectional data exchange, the system supports not only real-time visualization but also the accumulation of historical datasets for advanced analysis, including anomaly detection and predictive maintenance. The integration with cloud services facilitates remote supervision and centralized data processing, while edge-level computation ensures low-latency response for critical control actions. This hybrid approach contributes to improved system reliability, reduced downtime, and more efficient utilization of resources, which is particularly important for adaptive mechatronic systems operating under varying production conditions.

Conclusion. The proposed approach demonstrates the effectiveness of integrating real equipment, Simulink-based mathematical modeling, and cloud-based infrastructure into a unified digital twin framework. The developed system improves dosing accuracy, adaptability, and monitoring capabilities of hybrid mechatronic packaging modules. The results confirm that combining physical experimentation with model-based design and IIoT technologies provides a scalable solution for modern packaging systems. Future work will focus on extending and implementing advanced data-driven optimization methods within the cloud environment.

Обґрунтування раціональних кінематичних і геометричних параметрів транспортно-накопичувальних модулів потокових ліній пакування штучних харчових виробів у споживчу упаковку

Антон Кохан, Олександр Гавва, Людмила Кривопляс-Володіна
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Під час компонування потокових ліній пакування штучних харчових продуктів у споживчу упаковку важливо знати раціональні значення кінематичних і геометричних параметрів транспортно-накопичувальних модулів, особливо коли на один магістральний конвеєр надходять вироби із кількох технологічних ліній. По магістральному конвеєру вироби можуть переміщатися як в один ряд, так і в кілька рядів. Наведені умови функціонування потокових ліній є невизначеними і потребують ретельного їх аналізу та дослідження.

Матеріали та методи. За об'єкт переміщення прийнято штучний виріб, що має сталі геометричні розміри та масу й достатні міцносні властивості, щоб при взаємодії із робочими органами модулів, не відбувалося деформації. Операції транспортування та перевантаження досліджувалися аналітичними методами із застосуванням основних законів динаміки твердого тіла.

Результати та обговорення. На рисунку 1 наведена характерна схема транспортно-накопичувальних модулів потокових ліній пакування штучних харчових продуктів у споживчу упаковку.

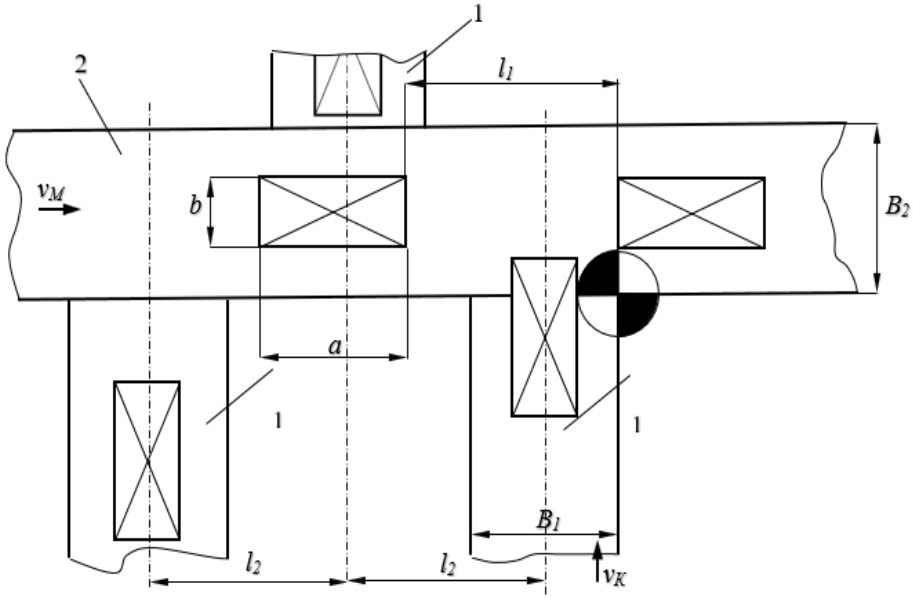


Рис.1. Характерна схема транспортно-накопичувальних модулів потокових ліній пакування штучних харчових продуктів у споживчу упаковку:
1 – подавальні конвеєри; 2 – магістральний конвеєр

Для забезпечення гарантованого зазору l_1 між виробами при подачі їх у пакувальну машину потрібно, щоб конвеєри подачі 1 були розташовані на відстані не менше l_2 один від іншого, за умови однакової інтенсивності подачі виробів подавальними конвеєрами, тобто

$$l_2 \geq l_1 + v_{\text{М}} \cdot \sum_{i=1}^{n} t_i \quad (1)$$

де l_1 – мінімально допустима відстань між виробами, що поступають в пакувальну машину;

$v_{\text{М}}$ – швидкість руху несучого елемента магістрального конвеєра;

$\sum_{i=1}^{n} t_i$ – тривалість перевантаження штучного виробу з подавального на магістральний конвеєр;

n – кількість характерних етапів перевантаження штучного виробу із подавального на магістральний конвеєр.

Сумарна тривалість перевантаження виробу з подавального на магістральний конвеєр залежить від багатьох факторів: швидкості руху несучих елементів подавального і магістрального конвеєрів; коефіцієнтів тертя ковзання виробу по несучих елементах конвеєрів; конструкції перевантажувального пристрою (напрямні, неприводні ролики, приводні барабани, пристрої захоплення тощо). Для гарантованого виконання перевантажень виробів ширина несучого елемента подавального конвеєра визначається з умови

$$B_1 \geq (0.25a^2 + b^2)^{0.5}, \quad (2)$$

а ширина магістрального конвеєра

$$B_1 \leq B_2 \leq (a^2 + b^2)^{0.5} \cdot sin(\alpha + \gamma), \quad (3)$$

де a, b – довжина та ширина виробу відповідно;

$$\alpha = arctg\, b/a; \gamma = arctg\, f_0;$$

f_0 – коефіцієнт тертя ковзання ребра виробу по напрямній магістрального конвеєра.

Із перерахованих геометричних параметрів модуля найскладнішим є визначення l_2, тому що він враховує тривалість перевантаження штучного виробу із подавального на магістральний конвеєр. Точність одержаних результатів у значній мірі буде залежати від повноти врахування зовнішніх навантажень на виріб під час його перевантаження.

Висновки. На основі аналізу умов роботоздатності транспортно-накопичувальних модулів ліній пакування штучних виробів у споживчу упаковку визначені основні завдання дослідження руху штучних виробів як на подавальних, так і на магістральному конвеєрах.

Література

1. Monika Kabmann (2021). Grundlagen der Verpackung. DIN Deutshes Institut fur Normange V, Berlin, 413 p.
2. Saravacos, G. & Kostaropoulos, A.E.. (2016). Food packaging equipment. *Food Engineering Series.*
3. Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О. (2003). Перевантажувальні пристрої в потокових лініях пакування *Упаковка*, 6, с 16-19.

Дослідження траєкторій руху маніпулятора в задачах позиціювання паковання

Назар Дрофа, Михайло Шклярський, Людмила Кривопляс-Володіна
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасних умовах змінної номенклатури продукції та високих вимог до продуктивності пакувальних ліній важливим є формування оптимальних траєкторій руху маніпулятора, що забезпечують плавність переміщення, мінімізацію інерційних ефектів та підвищення надійності роботи обладнання.

Матеріали і методи. Дослідження виконано на основі аналізу роботизованого маніпулятора з електропневматичною системою керування. Кінематичний аналіз здійснено з використанням методу Денавіта–Хартенберга, що дозволяє формалізувати перетворення координат між ланками маніпулятора.

Результати. Математична модель руху базується на залежностях зміни узагальнених координат $q_i(t)$, що визначають положення робочого органу у просторі (рис.1). Місцеположення точки захвату визначається як:

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{T}(q_1(t), q_2(t), q_3(t)) \cdot \mathbf{r}_0 \quad (1)$$

де: T - матриця перетворення координат; $q_i(t)$ - узагальнені координати; $\mathbf{r}_0$ - початкове положення точки. Швидкість руху визначено за похідною:

$$\mathbf{v}(t) = \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} \quad (2)$$

Для забезпечення плавності руху використано S-подібний закон зміни швидкості:

$$v(t) = v_{\max} \cdot \left(3\left(\frac{t}{T}\right)^2 - 2\left(\frac{t}{T}\right)^3\right) \; ; \quad \upsilon(t) = \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} \quad (3)$$

Де $\upsilon(t)$ - лінійна швидкість точки захвату, м/с; $\frac{d\mathbf{r}(t)}{dt}$ - похідна радіус-вектора за часом, що визначає зміну положення точки. За законом зміни швидкості:

$$v(t) = v_{\max} \cdot \left(3\left(\frac{t}{T}\right)^2 - 2\left(\frac{t}{T}\right)^3\right) \quad (4)$$

де: $v(t)$ - миттєва швидкість руху, м/с; $v_{\max}$ - максимальна швидкість руху, м/с; t - поточний час, с; T - загальний час переміщення , с; $\frac{t}{T}$ - нормований час.

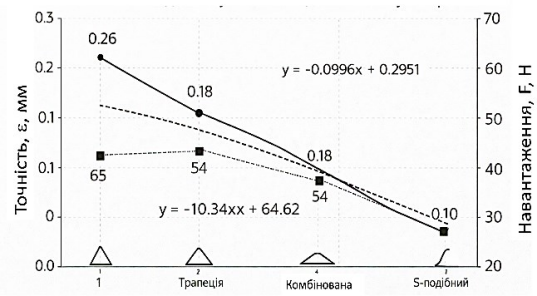


Рис.1. Залежність точності позиціювання та динамічних навантажень від закону зміни швидкості маніпулятора

Висновки. Отримані результатіи моделювання підтвердили, що вибір закону зміни швидкості суттєво впливає на динамічні характеристики маніпулятора. Використання трикутного та трапецієподібного профілів призводить до різких змін прискорення, що викликає додаткові навантаження на кінематичні ланки та приводи. Застосування S-подібної траєкторії забезпечує плавну зміну швидкості та прискорення, що дозволяє знизити динамічні навантаження до 25–35% та підвищити точність позиціювання.

Література: Kryvoplias-Volodina L., Gavva O., Blazhenko S., Marunin A., Volodin, O. (2023) Architecture of hybrid mechatronic dosing and packing module of packaging machine based on qualitative analysis. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(2-124), pp. 70-79. doi: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286615

Конструктивно-параметрична оптимізація гібридних захватів промислових роботів у пакувальних процесах

Єлизавета Швайченко, Матвій Лобачов, Сергій Токарчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Метою дослідження є встановлення закономірностей впливу конструктивно-параметричних характеристик гібридних захоплювальних модулів на ефективність їх функціонування у складі роботизованих пакувальних систем. Це необхідно для підвищення адаптивності, енергоефективності та надійності мехатронних систем у змінних умовах виробництва та при роботі з продукцією різної геометрії і фізико-механічних властивостей.

Матеріали і методи. Оцінка ефективності гібридних захватів проводилась за показниками сили утримання, точності позиціювання та енерговитрат приводу. Для визначення впливу масо-габаритних параметрів на динаміку системи застосовано розрахунки інерційних характеристик маніпулятора. Експериментальні дослідження виконувались із використанням датчиків сили, вакуумметрів та систем позиційного контролю. Статистична обробка результатів проводилась методом однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA).

Результати та обговорення. Встановлено, що використання гібридних захватів, які поєднують механічні самоцентруючі елементи та вакуумні присоски, дозволяє забезпечити стабільне утримання об'єктів із різною формою та масою при зменшенні енергоспоживання на 45–60%.

$$
\begin{gathered}
E = \int_0^T (P_m(t) + P_v(t))dt \\
F_\Sigma \geq k\left(mg + m\frac{d^2x}{dt^2}\right) \\
\Phi(A, p, m, \alpha) = \lambda_1 E - \lambda_2 F_\Sigma + \lambda_3 M \\
\frac{\partial\Phi}{\partial A} = 0, \frac{\partial\Phi}{\partial p} = 0, \frac{\partial\Phi}{\partial m} = 0, \frac{\partial\Phi}{\partial \alpha} = 0
\end{gathered} \tag{1}
$$

У наведених залежностях (1), маємо: E — сумарні енерговитрати захвату за цикл, Дж; $P_m(t)$ — миттєва потужність механічного приводу, Вт; $P_v(t)$ — миттєва потужність вакуумної системи, Вт; t— час, с; T — тривалість робочого циклу, с; F_Σ — сумарна сила утримання захвату, Н; k — коефіцієнт запасу надійності (1.5–3); m— маса об'єкта захоплення, кг; g — прискорення вільного падіння, м/с²; d^2x/dt^2— прискорення об'єкта, м/с²; $\Phi(A, p, m, \alpha)$— цільова функція оптимізації; A - ефективна площа вакуумного контакту, м²; p — перепад тиску (вакуум), Па; α — конструктивний параметр (кут/геометрія контакту); M — маса захватного модуля, кг; λ_1, λ_2, λ_3 — вагові коефіцієнти критеріїв оптимізації; $\partial\Phi/\partial A$, $\partial\Phi/\partial p$, $\partial\Phi/\partial m$, $\partial\Phi/\partial\alpha$ — частинні похідні цільової функції за відповідними параметрами. Оптимальні параметри досягаються при поєднанні жорстких контактних елементів із гнучкими вакуумними компонентами, що забезпечують компенсацію похибок позиціювання. Під час досліджень встановлено, що зменшення маси захватного модуля на 42% призводить до зниження інерційних навантажень та підвищення динамічної точності системи до ±0,1 мм.

Запропонована система швидкої зміни робочих елементів захвату дозволяє скоротити час переналагодження обладнання з 5–10 до 2 хвилин, що є критичним для гнучких пакувальних виробництв. На базі аналізу представлених експериментальних залежностей (рис.1) отримали, що зі збільшенням маси захватного модуля від 100 до 180г спостерігається зниження енергоефективності системи з ≈53% до ≈44%. Це обумовлено зростанням інерційних навантажень та енерговитрат на привід. При цьому сила утримання поступово зростає, що пов'язано зі збільшенням площі контакту та

жорсткості конструкції. Подальша оптимізація параметрів вакуумного контуру (площа присоски 2,0–2,5 см² та тиск 70–80 кПа) забезпечує суттєве підвищення сили утримання до ≈50 Н при одночасній стабілізації енергоефективності на рівні 44–46%. Встановлено наявність області раціональних параметрів, у якій досягається компроміс між енергоспоживанням і надійністю захоплення. Отримані результати підтверджують, що конструктивно-параметрична оптимізація гібридного захвату повинна базуватися на мінімізації маси рухомих елементів при одночасному підвищенні ефективності вакуумної складової, що дозволяє забезпечити стабільну роботу роботизованих пакувальних систем у динамічних режимах.

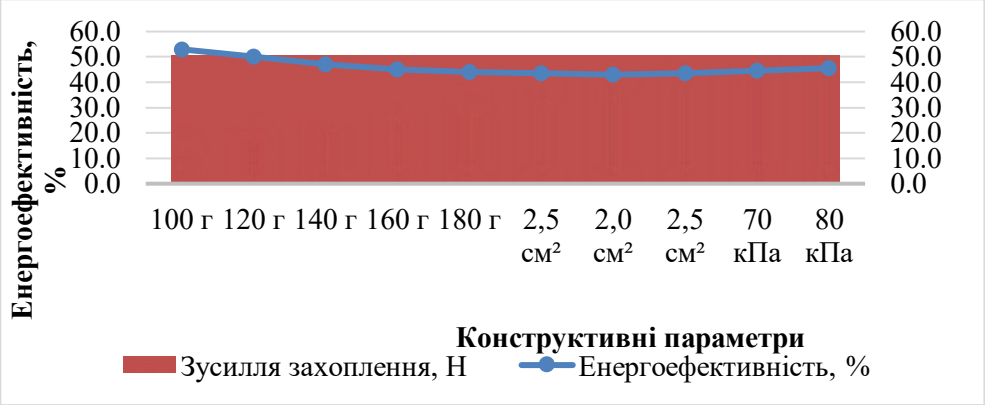


Рисунок 1. Залежність енергоефективності та сили утримання гібридного захвату від конструктивних параметрів

Аналіз конструктивних рішень показав особливості інтеграції тактильних сенсорів, які забезпечують контроль сили контакту у реальному часі. Це знижує ризик пошкодження продукції та підвищує надійність роботи. Впровадження предиктивної діагностики дозволяє прогнозувати відмови та оптимізувати технічне обслуговування.

Висновки. Конструктивно-параметрична оптимізація гібридних захоплювальних модулів є ефективним напрямком підвищення продуктивності роботизованих пакувальних систем. Використання комбінованих механіко-вакуумних принципів дозволяє забезпечити універсальність, енергоефективність та високу точність роботи. Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні адаптивних мехатронних систем пакування для харчової, фармацевтичної та логістичної галузей.

Література. 1. Туфекчі В.І., Кривопляс–Володіна Л.О. Дослідження інтелектуальних методів позиціювання групових упаковок у сенсорних робототехнічних системах пакувального виробництва. Наукові праці НУХТ. 2025. Т. 31, № 3. С. 210–224. DOI: 10.24263/2225-2924-2025-31-3-15 https://surl.li/ezyraf

2. Володін С.О., Кривопляс-Володіна Л.О., Токарчук С.В., Васильківський К.В. Пакувальний інжиніринг: моногр. К.: НУХТ, 2025. 313 с. ISBN 978-966-612-384-1. URL: https://surl.li/wfagli

3. Tai K., El-Sayed A.-R., Shahriari M., Biglarbegian M., Mahmud S. State of the Art Robotic Grippers and Applications. Robotics. 2016. Vol. 5(2). Article 11. DOI: 10.3390/robotics5020011. URL: https://www.mdpi.com/2218-6581/5/2/11

Компенсація стохастичних флуктуацій картону при ротаційному бігуванні

Євген Товмач, Костянтин Васильківський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Традиційний розрахунок інструмента для ротаційного бігування базується на детермінованій товщині матеріалу. Проте для 100% переробленого картону товщина та щільність є стохастичними величинами. Напрям удосконалення полягає у переході до динамічного параметричного синтезу, де ключовий критерій якості згину — параметр зсуву γ — підтримується на оптимальному рівні ($\gamma > 0.6$) не за рахунок жорсткої геометрії, а завдяки безперервній кінематичній адаптації робочого зазору в режимі реального часу.

Матеріали і методи. Математично параметр номінального початкового зсуву визначається як

$$\gamma = \frac{2(t-h)}{W},$$

де t — локальна товщина картону, h — зазор між пуансоном і матрицею, W — ширина каналу. У переробленому картоні мікрофлуктуації товщини t призводять до того, що при жорстко зафіксованому зазорі h значення γ постійно виходить за межі оптимальної зони. Якщо локальна товщина зменшується, γ падає нижче 0.6, що неминуче провокує крихкий розрив лайнера під час наступного фальцювання на лініях виготовлення картонної упаковки.

Результати та обговорення. Сучасний "цифровий двійник" такого вузла проєктується як мехатронна система із замкненим контуром управління. Перед бігувальною секцією інтегрується прецизійний лазерний товщиномір. Цільова функція синтезу зводиться до мінімізації похибки $\Delta\gamma$:

$$F\big(h(t)\big) = \left|\gamma_{opt} - 2\big(t(t) - h(t)\big)/W\right| \to 0$$

Це рівняння дозволяє двійнику прораховувати необхідний відгук системи ще до того, як конкретна ділянка картону потрапить у зону безпосереднього контакту з інструментом (предиктивне управління). Ключовою перевагою двійника є робота в замкненому контурі. Система не просто фіксує помилку, а активно запобігає її появі.

Відповідно до цієї функції, контролер руху миттєво обчислює необхідну корекцію та за допомогою високошвидкісних сервоприводів або п'єзоактуаторів змінює міжцентрову відстань валів $h(t)$. Це дозволяє гарантувати керовану делямінацію картону та нульовий рівень браку незалежно від якості вхідної вторинної сировини. При виявленні локального стоншення картону ($t \downarrow$), цифровий двійник миттєво зменшує міжцентрову відстань валів ($h \downarrow$), щоб утримати γ у межах допуску ≥ 0.6.Це гарантує стабільну керовану делямінацію — процес розшарування внутрішньої структури картону, що є критичним для формування якісного згину без розривів зовнішнього лайнера.

Це дозволяє створювати "розумне" обладнання, готове до роботи з найскладнішими еко-матеріалами майбутнього.

Висновки. Із проведених аналітичних досліджень можна зробити наступні висновки.

Доведено необхідність переходу до методології динамічного параметричного синтезу. Запропоновано нову цільову функцію $F\big(h(t)\big) \to 0$, яка базується не на пошуку єдиної ідеальної геометрії, а на безперервній мінімізації похибки параметра зсуву шляхом алгоритмічної адаптації робочого зазору $h(t)$ в режимі реального часу.

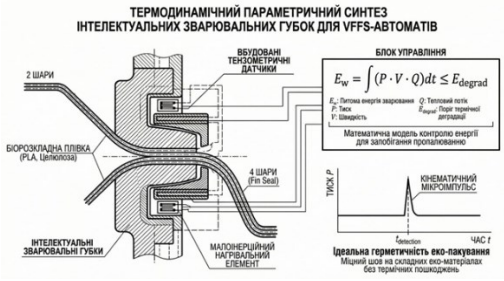
Термодинамічний параметричний синтез інтелектуальних зварювальних губок для біорозкладних плівок

Євген Товмач, Костянтин Васильківський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Біорозкладні пакувальні матеріали мають вузьке «термодинамічне вікно» зварювання. Використання традиційних зварювальних губок з високою тепловою інерцією призводить до термічної деградації плівок. Інноваційним рішенням є термодинамічний параметричний синтез, де є можливість генерувати мікроімпульсні профілі тиску та температури, що адаптуються під локальну топологію шва.

Матеріали і методи. Оцінювання параметрів модулів здійснювалось методом скінченних елементів, який дозволяє враховувати пластичність за критерієм Хілла, когезивні зони (для моделювання розшарування) та контактне тертя.

Результати та обговорення. Найбільш критичною зоною в автоматах типу VFFS (Vertical Form Fill Seal) є місце перетину поздовжнього та поперечного швів. У цій точці товщина матеріалу стрибкоподібно зростає з двох до чотирьох шарів. Біополімери, на відміну від класичного поліетилену, не здатні інтенсивно текти для заповнення утворених мікроканалів при постійному тиску. Спроба збільшити зусилля або температуру губок миттєво викликає пропалювання біо-матеріалу та втрату герметичності упаковки. Параметричний синтез адаптронного зварювального вузла передбачає відмову від жорсткої кінематики. Вектор оптимізації розширюється і включає малоінерційні нагрівальні елементи та тензометричні датчики зусилля, вбудовані безпосередньо у профіль інструмента (рис.).



Математична модель синтезується так, щоб контролювати питому енергію зварювання E_w:

$$E_w = \int_0^{\tau} P(t) \cdot V(t) \cdot Q(t)dt \le [E_{degrad}]$$

де $\mathrm{P(t)}$ — локальний тиск, $\mathrm{V(t)}$ — швидкість змикання, $\mathrm{Q(t)}$ — тепловий потік, $[\mathrm{E_{degrad}}]$ — поріг термічної деградації біополімеру.

Коли тензодатчик фіксує потовщення плівки (4 шари), система автоматично генерує кінематичний мікро імпульс, забезпечуючи ідеальне злиття когезивних зон полімеру на мікрорівні, але при цьому не перевищуючи критичний ліміт енергії. Це дозволяє створювати "розумне" обладнання, готове до роботи з найскладнішими еко-матеріалами майбутнього.

Висновки. Запропоновано нову математичну модель, де цільовою функцією є строгий контроль питомої енергії зварювання E_w, яка інтегрує локальний тиск, швидкість змикання та тепловий потік, гарантуючи не перевищення критичного порогу термічної деградації біополімеру.

Оптимізація керування пакувальним обладнанням на основі IIoT підходів

Олександр Савчук, Михайло Володін. Володимир Костін,
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Актуальність роботи зумовлена необхідністю забезпечення адаптивності, зниження енерговитрат та підвищення якості дозування у сучасних пакувальних лініях, що функціонують в умовах змінної номенклатури продукції та динамічних режимів роботи.

Матеріали і методи. Дослідження виконано на основі аналізу мехатронних дозувально-фасувальних модулів, інтегрованих у IIoT-середовище, що включає датчики тиску, витрати, положення та виконавчі електропневматичні елементи. Математична модель системи побудована на основі рівнянь нестаціонарного руху рідини, рівнянь балансу маси та динаміки виконавчих елементів дозатора. Для опису енергетичних характеристик системи використано інтегральну оцінку.

Результати. Для апаратурного забезпечення експерименту, з метою забезпечення високої стабілізації динаміки зміни тиску, було обрано регулятор Серії PRE. Інтегрована технологія CoilVision забезпечила безперервний моніторинг роботи пілотних клапанів (рис.1).На основі рівняння балансу витрат для теоретичного обгрунтування об'єму сформованої порції рідкого продукту, опрацьована інтегральна модель витрати за часом:

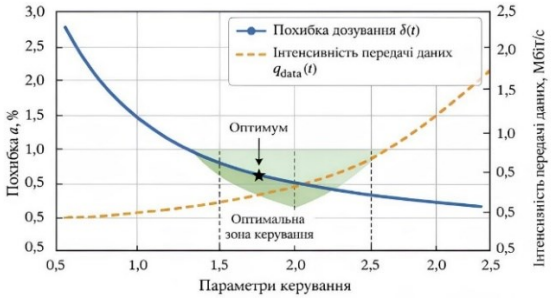


Рис.1. Залежність похибки дозування та інтенсивності передачі даних від параметрів керування IIoT-системи

$$V_d = \int_0^{T_d} Q(t)dt \quad (1)$$

де V_d - об'єм дози, м³;$Q(t)$ - миттєва витрата рідини, м^3/с; T_d - тривалість циклу дозування, с. В рамках дослідження динамічної модель витрати в каналі дозатора. Для нестаціонарного руху рідини в продуктопроводі в спрощеній формі:

$$L_h \frac{dQ(t)}{dt} + R_h Q(t) = \Delta p(t) \quad (2)$$

де L_h - гідравлічний інерційний коефіцієнт; R_h - гідравлічний опір каналу; $\Delta p(t)$ - перепад тиску, створений системою керування.

Висновки. У результаті аналізу пакувального обладнання як кіберфізичної системи встановлено, що ефективність його керування визначається не лише динамікою мехатронного дозувального модуля, а й архітектурою обробки та передачі даних у IIoT-середовищі. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості створення адаптивних систем керування пакувальним обладнанням, які забезпечують підвищення точності дозування, зниження динамічних втрат, скорочення мережевого трафіку та розширення функцій моніторингу і предиктивної діагностики.

Література: Kryvoplias-Volodina L., Gavva O., Blazhenko S., Marunin A., Volodin, O. (2023) Architecture of hybrid mechatronic dosing and packing module of packaging machine based on qualitative analysis. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(2-124), pp. 70-79. doi: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286615

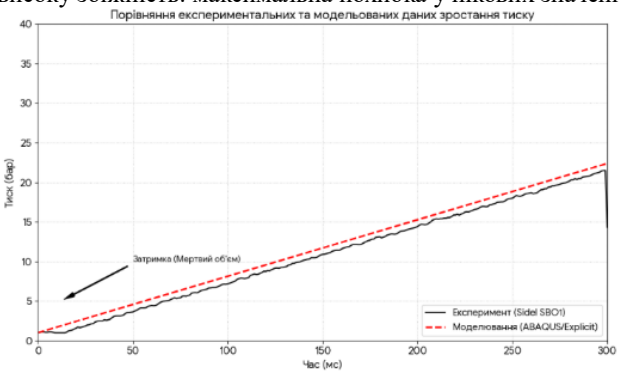
Дослідження та моделювання динаміки масової витрати повітря в процесі інжекційно-видувного формування ПЕТ-тари

Тарас Бутик, Володимир Костін
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Метою дослідження є розробка достовірної методики вимірювання та моделювання масової витрати повітря в циклі видуву ПЕТ-тари. Це необхідно для переходу від емпіричного налаштування обладнання до науково обґрунтованого комп'ютерного проектування.

Матеріали і методи. Дослідження газодинамічних процесів проведено на пневматичній системі промислової установки видуву з використанням жорстких металевих контейнерів об’ємом 0,5 л та 1,5 л. Динаміку тиску реєстрували п'єзорезистивним датчиком (до 40 бар, 1000 Гц). Чисельне моделювання здійснено в середовищі ABAQUS/Explicit із застосуванням елементів типу «fluid link» для імітації масообміну.

Результати та обговорення. Експериментально встановлено, що конструктивний «мертвий об'єм» пневматичної системи становить 0,22 л. Доведено, що цей параметр створює суттєву часову затримку на початковій стадії наповнення та є критично важливим для правильного розрахунку швидкості деформації заготовки. Виявлено нелінійну залежність масової витрати повітря від ступеня відкриття обмежувального клапана: найвища чутливість системи до регулювання фіксується в діапазоні від 0 до 4 обертів гвинта. Встановлено, що потік повітря більшість часу перебуває у критичному (звуковому) режимі при співвідношенні тисків менше 0,528, забезпечуючи масову витрату від 0,0119 кг/с (мінімальний потік) до 0,0824 кг/с (повністю відкритий клапан). Порівняння результатів симуляції ABAQUS із натурними даними продемонструвало високу збіжність: максимальна похибка у пікових значеннях не перевищує 4,2%.



Це повністю підтверджує фізичну достовірність використання рівняння стану ідеального газу за ізотермічних умов для високошвидкісних промислових процесів. Визначено, що для оптимізації енергозбереження та зниження навантаження на компресори оптимальним є повторне використання тиску на рівні 22–25 бар.

Висновки. Врахування конструктивних параметрів пневматики, зокрема «мертвого об'єму» (0,22 л), є обов'язковою умовою для прецизійного моделювання процесу формування. Розроблена цифрова модель дозволяє оптимізувати цикл видуву та скоротити час проектування нових форм.

Література

1. Nixon, J., Yan, S., & Menary, G. H. (2013). Development of a pressure boundary condition for the stretch blow moulding process. *Key Engineering Materials*, 554-557, 1729-1737.

Дослідження перспектив пакування харчових продуктів в реторт-пакети, як альтернативу металевій консервній тарі

Вадим Бутенко, Анастасія Деренівська
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Реторт-пакет (retort pouch) — це м'яка комбінована упаковка, що здатна витримувати термічну обробку за високих температур та тиску, аналогічно до металевих консервних банок. Завдяки своїй компактності, малій вазі та високим бар'єрним властивостям, цей вид упаковки стає дедалі популярнішим у світовій харчовій промисловості, забезпечуючи тривале зберігання продуктів без охолодження.

Рис. Технологічна схема пакування харчової продукції в реторт-пакет

Матеріали і методи. Методологічну основу дослідження становить теоретичний огляд та порівняльний аналіз технічних характеристик обладнання для пакування і термічної обробки. Об'єкт дослідження — технологія пакування харчової продукції в реторт-пакети та режими її термічної обробки.

Результати та обговорення. Досліджено ключові параметри та особливості роботи обладнання:

1. Термічна обробка в реторті. Тонкий профіль пакета дозволяє скоротити цикл на 30-40% порівняно зі скляною та металевою консервною тарою. Обов'язковою умовою безпеки в реторті є підтримання протитиску, який має перевищувати внутрішній тиск пари в пакеті для захисту швів.
2. Фасування та герметизація. Для запобігання розриву упаковки об'єм вільного простору має бути мінімальним. Чистота зони термоконтактного зварювання є критичною для забезпечення повної герметичності шва.
3. Видалення повітря. Парова ексгаустація, механічне стискання або вакуумування ефективно мінімізують вміст кисню, запобігаючи окисленню продукту та надмірному тиску в упаковці. Також використовують інертний газ (азот) для витіснення кисню.
4. Охолодження та логістика. Охолодження водою під тиском одразу після стерилізації нівелює надмірне роздування пакету. Через вразливість реторт-пакетів до проколів визначено необхідність їхнього групового пакування у жорстку зовнішню тару.

Висновки. Реторт-пакети є ефективною альтернативою скляній і металевій тарі завдяки високим бар'єрним властивостям та інтенсивнішому теплообміну, меншій масі та компактності, проте потребують додаткового захисту у вигляді жорсткого групового пакування. Нижча продуктивність ліній (30–60 уп/хв проти 80–600 уп/хв для банок) зумовлена технологічними обмеженнями герметизації, що обумовлює актуальність подальших досліджень і технічних розробок, спрямованих на підвищення їх продуктивності.

Література. Value-added seafood products processing through novel enzyme / M. Vijay Pradhap Singh et al. *Value-Addition in Food Products and Processing Through Enzyme Technology* / ed.: M. Kuddus, C. N. Aguilar. Academic Press, 2022. P. 309–320. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89929-1.00013-5.

Дослідження та аналіз пакувальних матеріалів для виготовлення реторт-пакетів

Вадим Бутенко, Анастасія Деренівська
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Реторт-пакети (retort pouch) широко застосовуються для пакування харчових продуктів завдяки їх здатності витримувати стерилізацію при високих температурах і тиску, забезпечуючи тривалий термін зберігання без холодильного обладнання. Однак їх екологічність є суттєвою проблемою через складну багатошарову структуру.

Матеріали і методи. Методологічну основу дослідження становить теоретичний огляд та порівняльний аналіз властивостей пакувальних матеріалів для реторт-пакетів. Об'єктом дослідження є сучасні пакувальні матеріали, що представлені багатошаровими композитними структурами та інноваційними рециклінго-придатними рішеннями.

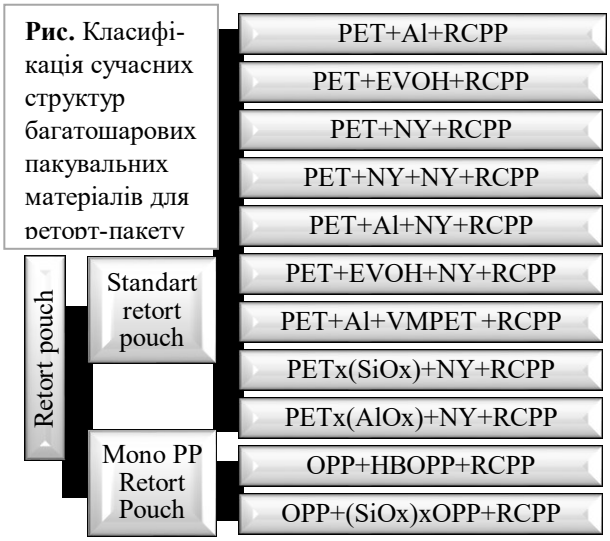


Рис. Класифікація сучасних структур багатошарових пакувальних матеріалів для реторт-пакетv

Результати та обговорення. Аналіз сучасного ринку та технічних характеристик дозволив класифікувати реторт-пакети на дві основні групи: традиційні багатошарові ламінати та інноваційні мономатеріальні структури (рис.). *1. Класичні багатошарові структури* (Standard Retort Pouch). Основною проблемою таких матеріалів є низька перероблюваність через складність розділення шарів, проте вони забезпечують високий рівень захисту продукту. Найбільш розповсюджена чотиришарова композитна структура PET+Al+NY+RCPP: PET — зовнішній шар для захисту та друку; Al (алюмінієва фольга) — повний бар'єр проти кисню та світла; NY (нейлон) — механічна міцність і стійкість до проколів; RCPP — внутрішній термозварювальний шар, що забезпечує герметичність. Посилені варіанти, наприклад PET+NY+NY+RCPP, застосовуються для продуктів із твердими включеннями. Безфольгові рішення з використанням EVOH або AlOx/SiOx-покриттів забезпечують прозорість пакування та придатність до мікрохвильового нагрівання при збереженні бар'єрних властивостей. *2. Екологічні рішення* (Mono PP Retort Pouch) передбачають використання однорідного полімеру (поліпропілену), що полегшує переробку. Типова структура OPP+HBOPP (високобар'єрний орієнтований поліпропілен)+RCPP забезпечує бар'єрні властивості за рахунок модифікованих поліпропіленових плівок. Технологія SiOx-покриття формує тонкий інертний бар'єр, який не ускладнює вторинну переробку та водночас захищає продукт.

Висновки. Впровадження інноваційних Mono-PP структур із використанням високобар'єрних шарів (HBOPP) та напилення оксидів кремнію (SiOx) є перспективним напрямом, що дозволяє поєднати необхідний рівень захисту продукту з можливістю повної вторинної переробки упаковки.

Оптимізація технологічних параметрів роботи лінії формування транспортних пакетів засобами дискретного імітаційного моделювання

Костянтин Зорін, Анастасія Деренівська
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасні пакувальні лінії потребують високої синхронізації роботизованих модулів. Проблемою є виникнення «вузьких місць» (bottlenecks), які обмежують загальну продуктивність. Оптимізація структури лінії дозволяє вирівняти тривалість циклів окремих модулів та підвищити ефективність логістичних процесів.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є роботизована лінія формування транспортних пакетів. Методологія базується на аналізі та синтезі; розрахунку тривалостей циклів роботи складового обладнання; застосуванні теорії пошуку «вузьких місць» для ідентифікації ланок, що гальмують потік; дискретно-ситуаційному імітаційному моделюванні.

Результати та обговорення. У середовищі FlexSim 2026 розроблено імітаційну модель лінії формування транспортних пакетів. Проведено пошук «вузьких місць» (bottlenecks), оптимізовано режим роботи робота- маніпулятора: впровадження багатозахватного укладання дозволило переміщувати декілька гофрокоробок за один цикл, що суттєво підвищило пропускну здатність системи (рис. 1). Аналіз діаграми стану обладнання лінії (рис. 2) підтверджує ефективність внесених змін: завантаженість палетайзера становить 66,37% (це свідчить про наявність необхідного резерву потужності); рівень завантаженості у зоні «вузького місця» знизився до 2,34%, що підтверджує повну ліквідацію заторів та стабільність потоку продукції.

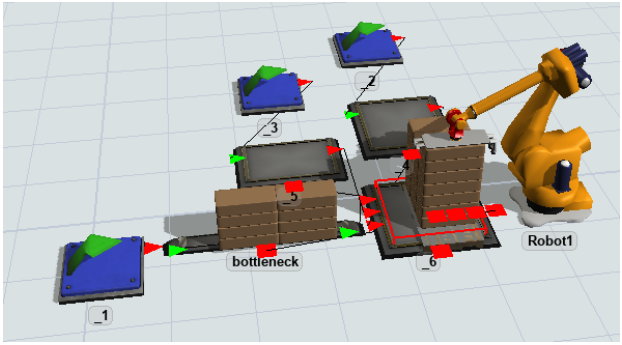


Рис. 1. Імітаційна модель роботи лінії для формування транспортного пакету: 1, 2, 3 – блок Source для створення і видачі відповідно гофроящиків, піддонів, прокладки; 4,5 - блок Queue для пристроїв (магазинів) накопичення піддонів та прокладок відповідно; bottleneck – критична ділянка, конвеєр, на якій формується затор з гофрокоробок; Robot1 – робот палетайзер.

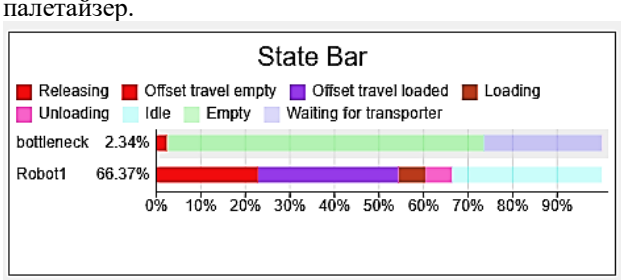


Рис. 2. Діаграма станів модулів лінії для формування транспортного пакету

Висновки. Проведена оптимізація параметрів роботи та застосування багатозахватного укладання дозволили усунути «вузьке місце», забезпечити рівномірний потік продукції та стабільну роботу лінії формування транспортних пакетів.

Імітаційне моделювання модуля динамічного контролю маси продукції для оптимізації показників OEE

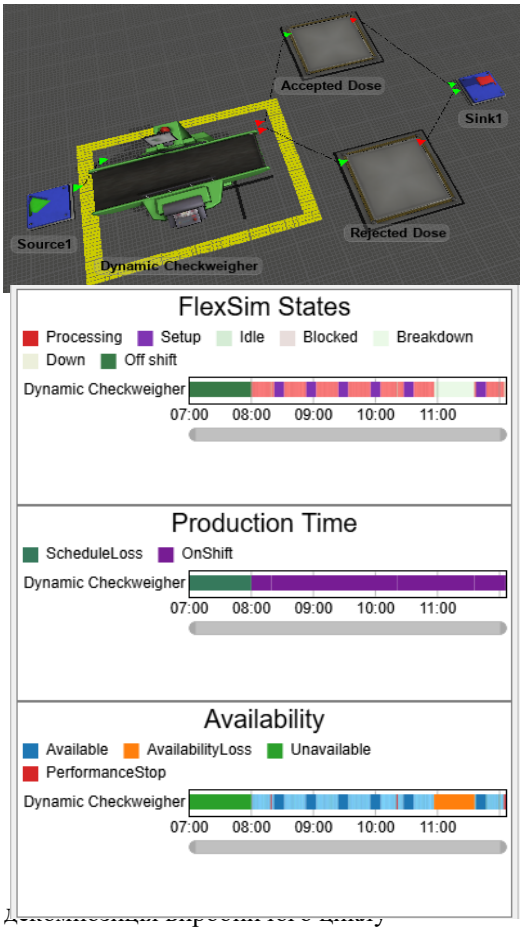
Роман Яцюченко, Анастасія Деренівська

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Проектування сучасних пакувальних ліній потребує попереднього оцінювання роботи модулів контролю маси як критичних вузлів, що впливають на загальну продуктивність. Використання методів імітаційного моделювання дозволяє ще на етапі проектування інтегрувати алгоритми розрахунку комплексного показника OEE (Overall Equipment Effectiveness) для аналізу точності дозування та мінімізації ризиків виникнення заторів.

Матеріали і методи. Використано методи імітаційного моделювання технологічних процесів, статистичної обробки даних, а також розрахунок комплексного показника OEE. Об'єкт дослідження — технологічний процес відбраковування продукції.

Результати та обговорення. У ході імітаційного моделювання у дискретно-подієвому середовищі програми FlexSim 2026 було реалізовано багаторівневу систему збору та аналізу даних модуля динамічного зважування продукції (рис.). Завдяки налаштуванню трьох паралельних профілів станів (FlexSim States, Production Time, Availability) було досягнуто високої деталізації виробничого циклу.



Висновки. Декомпозиція часових станів (діаграма Production time) дозволяє чітко розмежувати час роботи (OnShift) та позазмінний час (Schedule Loss), який не враховується як простій під час розрахунку комплексного показника OEE. Основний вплив на зниження загальної ефективності мають мікрозупинки (PerformanceStop), зафіксовані червоним кольором на діаграмах Availability. Візуалізація розподілу потоків на Accepted та Rejected Dose дозволила використовувати модель як інструмент підтримки прийняття рішень для оперативного корегування параметрів лінії.

Література. Кривопляс-Володіна Л. О. Оптимізація синтезу пакувальних машин за критерієм ефективності / Л. О. Кривопляс-Володіна, О. М. Гавва, А. В. Деренівська // Наукові праці НУХТ. 2018. Т. 24, № 5. С. 115–123.

Адаптивна координація мульти-роботних пакувальних систем на основі алгоритмів MRTA

Владислав Карпов, Валентин Туфекчі
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Зростання варіативності пакувальних операцій (змішані SKU, короткі серії, часті переналадки) робить мульти-роботні комірки ефективними, але в зоні перекриття досяжності виникають взаємні блокування, простої та ризики колізій [1,3]. Деформовані вантажі (пакети/мішки) ускладнюють контроль: геометрія змінюється під час захвату, тому потрібно регулярно оновлювати оцінку положення й адаптувати траєкторії [1]. Мета дослідження — розробити та верифікувати (в цифровому двійнику) адаптивну координацію двох роботів із мінімізацією колізій і простоїв за рахунок поєднання локалізації, MRTA та планування руху [1,2].

Матеріали і методи. Експериментальний дизайн: симуляція; Середовище: CoppeliaSim; конвеєр 2 м із регульованою швидкістю; фізика Bullet 2.78 [1]. Апаратна конфігурація: два промислові роботи-маніпулятори по обидва боки конвеєра (Задано модель/вантажопідйомність/кількість осей); захват (вакуумний присмоктувач); сенсори — RGB-D камери над конвеєром для формування хмари точок [1]. Алгоритмічний контур: (i) локалізація об'єктів: хмара точок → опукла оболонка → центроїд; D2/D2m згадані як методи уточнення [1]; (розподіл завдань MRTA: децентралізований Contract-Net-подібний підхід із функцією вартості (відстань, прогнозований час, пріоритет, штраф конфлікту у спільній зоні) [1,2]; планування траєкторій та перевірка колізій: OMPL-плагін (RRT-Connect) у CoppeliaSim [1,3].

Метрики: пропускна здатність (об'єктів/год), час циклу/простої, колізії або «близькі проходи», рівномірність навантаження; для деформованих вантажів — частка успішних операцій та профілі похибки позиціювання ex(t) [1].

Результати та обговорення. У цифровому двійнику розглянуто три сценарії взаємодії та запропоновано критерій вибору, який враховує не лише величину похибки ex(t), а й її варіативність у часі (як проксі-ризик конфліктів) [1]. Для сценарію «координована робота у спільній зоні» наведено продуктивність: однороботний режим ≈200 об'єктів/год; двороботний без координації ≈250 об'єктів/год; двороботний з координацією ≈330 об'єктів/год. У підсумку зазначено приріст продуктивності на 32% (до 330 об/год) відносно некерованої двороботної роботи та усунення фізичних колізій у моделюванні. Для деформованих вантажів наведено частку успішно відсортованих пакунків 98.7%.

Висновки. Комбінування RGB-D-локалізації, децентралізованого market-based MRTA зі «штрафом колізій» та OMPL-планування траєкторій у цифровому двійнику є практичним шляхом підвищення пропускної здатності пакування без нарощення ризиків у спільній робочій зоні. За даними оглядів, перехід до MARL може дати результати в адаптивності, але має високу ціну навчання та Sim2Real-ризики, тому порівняння підходів варто вести на єдиному тесті цифрового двійника.

Література

1. Quinton F., Grand C., Lesire C. Market Approaches to the Multi-Robot Task Allocation Problem: a Survey. J Intell Robot Syst, 2023. doi:10.1007/s10846-022-01803-0.

2. Surynek P. Problem Compilation for Multi-Agent Path Finding: a Survey. IJCAI 2022 (Survey Track), 2022.

3. Coppelia Robotics. CoppeliaSim User Manual: Path/motion planning (OMPL plugin). Документація (доступ: 2026-03-23).

Застосування машинного навчання для прогнозування відмов роботів-маніпуляторів у пакувальних лініях

Тарас Страннік, Артем Балацький, Валентин Туфекчі
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Робототехнічні лінії в промисловості (пакувальні лінії, автоматизовані склади) часто працюють безперервно, тому відмови призводять до значних втрат. Традиційні системи обслуговування за планом не враховують поточний знос, тоді як підхід прогнозного обслуговування (predictive maintenance) використовує дані сенсорів і моделі ML для оцінки стану обладнання в реальному часі і передбачення RUL (Remaining Useful Life) [1–3]. Метою дослідження є розробка системи для виявлення ознак наближення відмови робота-маніпулятора та прогнозування часу до відмови, що дозволить планувати обслуговування. Завдання включає: опис сенсорів і даних, вибір моделей ML, визначення метрик на реальних/симульованих даних [2,3].

Матеріали і методи. Апаратна конфігурація включає промислові роботи-маніпулятори з електроприводами та систему сенсорів (вібраційні, температурні…). Для забезпечення інформативності даних застосовується попередня обробка: цифрова фільтрація, сегментація сигналів на часові вікна та витяг ознак (RMS, FFT, пікові значення, ентропія). Оцінка ефективності виконується за метриками класифікації (F1, AUC-ROC) та регресії (MAE, RMSE) з використанням крос-валідації та тестування на цифрових двійниках. Такий підхід дозволяє реалізувати predictive maintenance для роботизованих пакувальних систем, підвищуючи їх надійність і зменшуючи простої.

Результати та обговорення. Результати показали, що ML-моделі знижують число несправностей на ~20–30% за рахунок своєчасного планування технічного обслуговування [1,2]. Наприклад, глибокі LSTM та гібридні моделі забезпечують високу точність прогнозу відмов (>90% AUC) при помірній вартості обчислень [3]. Загалом використання методів машинного навчання дозволяє підвищити точність раннього виявлення дефектів на 10–20% та зменшити простої і MTTR на 15–25%. Для практичної реалізації застосовують комбінацію підходів: класичні ML — для базової діагностики, рекурентні мережі — для аналізу часових залежностей та гібридні моделі — для критичних систем.

Висновки. Застосування методів машинного навчання забезпечує підвищення надійності робототехнічних систем і зменшення простоїв завдяки ранньому виявленню дефектів та predictive maintenance. Для квазі-стаціонарних процесів доцільно використовувати класичні алгоритми з ручним відбором ознак, тоді як для складних часових сигналів ефективні глибокі моделі (LSTM, TCN, трансформери) з урахуванням компромісу між точністю та ресурсами. Практична реалізація потребує балансування між Edge-обробкою (мінімальні затримки) та Cloud-рішеннями (централізована аналітика), а також забезпечення пояснюваності моделей для інженерного прийняття рішень.

Література

1. S. Feng et al., “Data-driven predictive maintenance of industrial robots: A review,” IEEE Trans. Ind. Inform., 2022.

2. J. Zhang, M. Li, “Machine Learning for Predictive Maintenance: A Survey,” Sensors, 2021.

3. A. Lee, B. Kim, “Deep Learning-based Fault Diagnosis for Automated Systems,” IEEE Access, 2020.

Подрібнення в технологіях рециклінгу використаної упаковки

Віталій Степанець, Володимир Костюк
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. За сучасного розвитку техніки та технологій питання утилізації та повторного використання матеріалів стає дедалі актуальнішим. Станом ще з початку 2020-х забруднення пластиком залишається однією з основних екологічних проблем людства.

Матеріали і методи. В даній роботі проводиться дослідження процесу подрібнення в існуючих технологій рециклінгу використаної упаковки. Аналіз виконувався з використанням теоретичних методів та існуючих конструкцій обладнання.

Результати. Повторному використанню відходів використаної упаковки, як правило, передує переробка, пов'язана з їх подрібненням. З цією метою розроблені спеціальні машини та установки для переробки найрізноманітніших форм і розмірів виробів для отримання вторинної сировини, яка за формою та розмірами значною мірою відповідала б первинній сировині. Подрібнення – ключовий етап переробки упаковки, що зменшує розмір відходів (ПЕТ-пляшок, плівок, картону, тощо) до фракції (дробленки) для подальшої мийки, сушіння та грануляції. Цей процес знижує об'єм сміття, полегшує транспортування та дозволяє повторно використовувати пластик, папір та інші матеріали у виробництві і являється найбільш енергозатратним. Переробка однієї тони пластику може зберегти 5774 кВт/год, або 103292000 кілоджоулів енергії, 3785-7570 літрів бензину, 685 літрів мастила, 30 кубічних метрів місця на звалищах, та 48000 літрів води.

Використовуються такі основні процеси та обладнання подрібнення:

- Попереднє подрібнення – для великих або твердих пакувальних матеріалів, що полегшує наступні етапи переробки.
- Дроблення (на ножових дробарках) – основний метод для пластику, де плівка, пакети, пляшки ріжуться спеціальними ножами на дрібні шматочки — «дробленку».
- Роторно-статорні гомогенізатори – створення високооднорідної маси (суспензії) з органічних або харчових залишків упаковки.
- Шредери – для попереднього подрібнення паперу, картону та полімерів, зменшуючи об'єм та спрощуючи сортування.

Ефективне подрібнення пластику різних видів вимагає виваженого підходу і практичного досвіду. Це допомагає оптимально підібрати конфігурацію продуктів обладнання на якому вони будуть подрібнюватись. Найбільш практичними у використанні являються ножові дробарки та шредери які широко використовуються як в Україні так і Європі. Найпоширенішими є подрібнювачі пластику Екополімер, STILER, GRINDEX та інші, що є надзвичайно потужними і гнучкими. Встановлено конструктивні особливості робочих органів таких машин, їх геометричні, технологічні та кінематичні параметри, що забезпечують оптимальний процес подрібнення без плавлення полімерного матеріалу.

Висновки. В Україні найбільшого поширення набув механічний метод вторинної переробки полімерних матеріалів, при якому виконується подрібнення полімерної сировини в крихту, розміри якої повинні складати від 10 до 30 міліметрів в залежності від матеріалу.

Рекуперативне повернення теплової енергії в системах виробництв – вимога часу

Євгеній Скуйбіда, Володимир Костюк
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Проведення технологічного процесу можливе за наявності відповідної енергії. Сучасні вимоги щодо скорочення витрат енергії актуалізують пошук нових конструктивних та технологічних рішень у харчовій промисловості.

Матеріали і методи. Метою роботи є аналіз сучасного стану технологічних машин харчових виробництв із рекуперативними можливостями системи.

Результати і обговорення. Технологічне обладнання харчової промисловості можна структурувати за двома ключовими ознаками: функціональним призначенням та природою вторинного енергетичного потоку. Концентратори й випарні установки демонструють найвищий потенціал зниження енергоспоживання – від 25 до 40%. Гомогенізатори та екструдери з вбудованими теплообмінними модулями забезпечують повернення 15-25% вхідної енергії. Найменший, але стабільний ефект – 10-15% – фіксується у змішувачах із маховиковими накопичувачами та у пневматичних системах транспортування, де утилізується тепло компресії [1, 2]. Для порівняння конструктивних варіантів використовують три взаємодоповнюючі показники: – коефіцієнт корисної дії, що відображає частку сумарної вхідної енергії, перетвореної на корисний результат з урахуванням поверненої складової, – коефіцієнт рекуперації, який визначає відношення рекуперованої енергії до загального вводу або до обсягу втрат та – питомі енерговитрати на одиницю обробленого продукту. Рекуперативні системи підвищують ККД на 15-30% і скорочують питомі витрати енергії на 10-35% порівняно з традиційними схемами. Запропонована модель [3] дозволяє реалізувати безперервний поетапний технологічний процес, з поступовим енергетичним "порційним" відбиранням тепла з використанням декількох теплових контурів, з циркуляційною системою проміжного рідинного теплоносія з можливістю фазового переходу теплоносія або зміни його температурного стану.

Висновки. В залежності від типу машини, фізичної природи вторинного потоку потенціал зниження споживання первинної енергії варіює від 10% у пневматичних системах і до 40% у багатоступеневих насосах. Ключовою науковою прогалиною є відсутність узагальнених динамічних моделей, здатних адекватно описувати поведінку систем у перехідних режимах із урахуванням нелінійних енергетичних зворотних зв’язків.

Література

1. Stadnyk I., Piddubnuy V., Balaban S., Kaspruk V., Derkach A. Methodology for assessing the heat potential recovery regime at food industry enterprises. Animal Science and Food Technology, 14(1), 2023, 95-112. doi: 10.31548/animal.1.2023.95.

2. Zhou K., Zhang X., Chen J. Physics-Informed Neural Networks for Transient Thermal Systems. Applied Thermal Engineering, 233, 2023, 121145.

3. Пристрій для рекуперативного повернення теплової енергії в системах теплообміну між двома газовими потоками: пат. на кор. мод. 155977: МПК F25B1/10 / Костюк В.С, Шевченко О.Ю. та ін.; заявник та власник Національний Університет Харчових Технологій". – u 202303311; заявл. 06.07.2023; опубл. 24.04.2024, Бюл. № 17. – 4 с.

Дерев'яна бочка – унікальна тара

Тетяна Вересоцька, Володимир Костюк
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Бочки з'явилися більше 2000 років тому. В основі їх конструкції лежать декілька важливих інженерних принципів. Клепки зігнуті у двох напрямах, і тара має ідеальну форму, що забезпечує максимальну міцність.

Матеріали і методи. Метою роботи є дослідження особливостей використання ємкостей із деревини як засобу зберігання та транспортування харчової продукції. Дослідження проводились з використанням теоретичного методу аналізу інформації.

Результати. Для пакування різних товарів і продукції застосовують бочки дерев'яні заливні і сухотарні місткістю від 5до 250 л. Щоб виготовити 1 м^3 клепки для бондарських виробів витрачають 5-6 м^3 кругляка, а з 1 м^3 клепки виходить 5-7 бочок місткістю 200 л.

На відміну від інших матеріалів у деревини є судини, промені і волокна, а також порода, родина і характер. Одна із багатьох властивостей деревини – мікробіологічна активність. Багаточисленні дослідження показують, що деревина за своєю природою здатна зменшувати кількість мікробів і знищувати бактерії. Найкращою деревиною, наприклад, для дозрівання вина, коньяку вважають дуб. Хімічні зміни, які відбуваються у складі коньячних спиртів і коньяків за їх витримки, досить складні. Наприклад, в дуже вологих приміщеннях спирт випаровується (згідно законам дифузії) швидше, ніж вода, його міцність, як показують спостереження, прямо пропорційні степені вологості приміщень. На ароматичні властивості напоїв, що зберігаються у дубовій тарі впливають сорт і походження деревини, технологія виготовлення та підготовка до проведення процесів зберігання, терміни зберігання. Окисно-відновні процеси при формуванні та дозріванні спирту проходять за тривалого контакту його з дубовою деревиною під час багаторічної витримки з участю кисню.

Процеси, що відбуваються у спиртах за зберігання у бочках розділяють на фізичні, (екстракція, поглинання та випаровування) і хімічні. Внаслідок екстрагування із деревини дуба переходить у спирт лігнін, таніди, кислоти, вуглеводи, азотисті і білкові речовини, флавоноїди і деякі мінеральні речовини (калій, натрій), що створюють екстракт спирту. Кращими умовами для екстрагування є понижене pH спирту і підвищена температура витримки. Всі з'єднання, що переходять із дубової клепки бочки, приймають участь в різних хімічних реакціях, результатом яких є формування кольору, смаку та аромату.

Висновки. Використання деревини в якості заливних бочок для виноматеріалів не має альтернативи. Питання хіміко-технологічних властивостей – надання продукту букету смакових та ароматичних якостей залишаються недостатньо вивчені і на сьогоднішній день, а екологічність матеріалу є суттєвими передумовами перспектив більшого використання його в майбутньому.

Література

Соколенко А.І. Пакувальні матеріали та їх фізико-хімічні властивості / А.І. Соколенко, В.С. Костюк, К.В. Васильківський та ін. // Підручник – К.: Кондор-Видавництво, 2015. – 398 с.

Застосування аналітичних властивостей функцій для оптимізації розв'язку задач механіки

Богдан Каптановський, Олексій Осьмак
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Традиційні методи розв'язку задач теоретичної механіки як правило потребують застосування складного математичного апарату. Векторна алгебра – це база, оскільки сили, швидкості та моменти – це вектори. Диференціальне числення використовується для аналізу руху фізичних тіл у часі. Інтегральне числення потрібне для зворотних задач та розрахунку характеристик тіл. Диференціальні рівняння – це "серце" динаміки. Тому, оптимізація та пошук інноваційних підходів, що базуються на використанні класичних фундаментальних математичних знань є важливим та актуальним завданням.

Матеріали і методи. Розглянуто методи оцінки області значень складних функцій. Зокрема, застосування методу виділення повного квадрату функції для встановлення меж руху. Наприклад, $x^2 - 2x + 5 = (x-1)^2 + 4$, що дає змогу визначити мінімальне значення функції $f(x) \geq 4$. Для оцінки енергетичних рівнів застосовано нерівність між середнім арифметичним та геометричним: $\frac{a+b}{2} \geq \sqrt{ab}$, де рівність досягається лише при $a = b$. Також досліджено властивість обмеженості тригонометричних функцій $|\sin x| \leq 1$ для аналізу амплітуди коливань механічних систем.

Результати іта обговорення. Під час дослідження рівнянь руху тіл встановлено, що досить часто ліва частина рівнянь руху подана у вигляді суми монотонно зростаючих функцій (наприклад, $\sqrt{x} + \sqrt{x+16} = 8$), це дозволяє негайно довести єдиність розв'язку ($x = 9$), оскільки сума таких функцій сама є монотонною і набуває конкретного значення лише один раз. Детальний розгляд трансендентних рівнянь виду $1 + x^2 = \cos 3x$ показав, що розв'язок $x = 0$ є єдиним можливим, оскільки ліва частина через властивості квадратичної функції завжди ≥ 1, а права частина через обмеженість косинуса ≤ 1, отже, перетин графіків можливий лише у спільній точці екстремуму. Для нелінійних коливальних систем доцільно використати метод допоміжного кута, який трансформує вираз $A \sin x \pm B \cos x$ у форму $\sqrt{A^2 + B^2} \sin(x \pm \varphi)$, $\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{B}{A}\right)$. Це дозволяє аналітично визначити максимальну амплітуду коливань $A_{max} = \sqrt{A^2 + B^2}$ та фазове зміщення без інтегрування рівнянь руху. При аналізі рівноваги систем, де потенціальна енергія представлена сумою невід'ємних функцій (наприклад, $(\sin(\pi x))^2 + \sqrt{x^2 + 3x + 2} = 0$), доведено, що стан спокою досягається лише в точках, які є спільними коренями для кожного доданку окремо (у даному випадку $x = -1$ або $x = -2$), що радикально спрощує пошук стійких конфігурацій. Такий «глобальний» підхід до розуміння функцій дозволяє уникати механічних помилок при громіздких перетвореннях і забезпечує швидку верифікацію фізичної коректності отриманих результатів.

Висновки. Використання нерівностей та властивостей обмеженості функцій є ефективним інструментом для швидкої верифікації фізичних моделей та визначення критичних параметрів механічних систем.

Література. Ellina Grigorieva (2015), Methods of Solving Nonstandard Problems, Springer, pp. 28-35, 246-250.

Стратегії розмірного аналізу та оцінки порядків величин у прикладній динаміці

Денис Орлов, Олексій Осьмак
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Одним із важливих етапів математичного моделювання динамічних механічних систем є їх спрощення – своєрідна оптимізація багатопараметричної структури до більш компактного вигляду без втрати адекватності та прогностичної здатності. Даний допис присвячений дослідженню застосування теорії розмірностей для зменшення розмірності фазового простору задач механіки.

Матеріали і методи. Теорія розмірностей (аналіз розмірностей) – це метод, що базується на вивченні зв'язку між основними фізичними величинами (довжина, маса, час) для перевірки рівнянь, моделювання процесів та зменшення кількості змінних. Основний інструмент – π-теорема Букінгема, що перетворює розмірні величини на безрозмірні параметри. Теорема дозволяє переписати динаміку з n параметрами через $n-3$ безрозмірні групи.

Результати та обговорення. На прикладі процесу осадження (седиментації) твердих частинок у в'язкому харчовому середовищі продемонструємо ефективність оцінювання порядку величин. Встановлено, що для частинок продукту гранична швидкість v_{lim} досягається, коли сила тяжіння врівноважується опором середовища ($v_{lim} = \frac{mg}{\mu}$). Знерозмірювання рівняння руху дозволяє побудувати універсальну криву осадження, що не залежить від конкретної маси частинки, а лише від безрозмірного часу τ, що критично важливо для розрахунку висоти відстійних танків.

Детальний аналіз роботи вальцьових агрегатів (наприклад, для вальцювання тіста або подрібнення зерна) показує, що при відомих параметрах діаметру валків, зазору між ними та використання безрозмірної умови «захоплення» продукту, що залежить виключно від коефіцієнта тертя, для успішної роботи товщина продукту повинна задовольняти співвідношенню, де рівнодійна нормальних реакцій та сил тертя спрямована в бік руху. Це дозволяє уникати ковзання продукту без виконання складного розрахунку повних рівнянь контактної взаємодії.

При роботі центрифуг та сепараторів наявна біфуркації у фазовому просторі за перевищення критичної частоти обертання $\omega_c = \sqrt{\frac{g}{L}}$ стабільний стан спокою в нижній точці стає нестабільним, і динамічна система стрімко перебудовується, що сприяє ефективному розділенню фракцій різної щільності. Аналіз показує, що зміна безрозмірного параметра ($\frac{\Omega}{\omega}$) дозволяє точно керувати кутом розхилу елементів сепаратора для оптимізації виходу готового продукту.

Такі підходи до моделювання дозволяють трансформувати складні диференціальні рівняння динаміки у прості алгебраїчні співвідношення між безрозмірними групами, забезпечуючи високу точність попередніх інженерних розрахунків навіть за умов варіативності властивостей сировини.

Висновки. Впровадження стратегій розмірного аналізу в розрахунки харчового обладнання дозволяє виявляти фундаментальні закономірності (зокрема, механічну подібність процесів сепарації) та значно скоротити витрати на експериментальне відпрацювання режимів роботи обладнання.

Література. Delaplace, G., Loubière, K., Ducept, F., & Jeantet, R. (2015). Dimensional analysis of food processes. Amsterdam: Elsevier. pp. 197-268

Варіаційні принципи та лагранжів формалізм у задачах із геометричними в'язями

Вадим Бутенко, Олексій Осьмак

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Наявність в'язей у механічній системі значно ускладнює застосування класичної механіки Ньютона, оскільки виникає потреба враховувати додаткові реакційні сили, що робить рівняння руху громіздкими та менш зручними для аналізу. У цьому контексті особливого значення набуває використання функції Лагранжа, яка дозволяє здійснити автоматичне виключення сил реакції в'язей із рівнянь руху. Такий підхід не лише спрощує математичний апарат, але й забезпечує більш ефективне та прозоре моделювання динаміки механічних систем.

Матеріали і методи. Досліджено принцип найменшої дії Гамільтона $\delta S = 0$ ($S = \int_{t_1}^{t_2} L dt$). Методологія базується на використанні рівнянь Ейлера-Лагранжа другого роду $\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0$. Для систем із нехолономними в'язями використано метод множників Лагранжа λ_j, що дозволяє врахувати обмеження у формі $f_{ji}\delta q_i = 0$.

Результати та обговорення. Ключовою перевагою методу Лагранжа є використання концепції віртуальних переміщень δr, при яких робота сил в'язей дорівнює нулю ($Z \cdot \delta r = 0$), що дозволяє описувати рух лише через активні сили. У задачах про сферичний маятник перехід до узагальнених координат (θ, φ) виявив циклічність азимутального кута φ, що згідно з теоремою Нетер генерує закон збереження проекції кутового моменту $p_\varphi = mr^2\dot{\varphi}(\sin\theta)^2 = const$. Це перетворює тривимірну задачу на одновимірну динаміку в ефективному потенціалі $V(\theta) = \frac{C_\varphi^2}{(\sin\theta)^2} - MgL\cos\theta$. Аналіз ефективного потенціалу дозволив виявити «ротаційний бар'єр» ($\theta \to 0, \pi$), який фізично перешкоджає наближенню частинки до осі обертання при ненульовому кутовому моменті.

Для систем із багатьма ступенями вільності, таких як пружина на рейках або подвійний маятник, використання лагранжевого формалізму забезпечує декомпозицію руху на переміщення центру мас (Q) та відносний рух, де узагальнені імпульси $p_i = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}$ стають константами руху для всіх циклічних координат. Впровадження гамільтонового підходу в фазовому просторі дозволило візуалізувати складні режими руху як траєкторії, що не перетинаються, де кожна точка повністю визначає стан системи. Застосування принципу Якобі показало, що за відсутності зовнішніх сил система завжди рухається вздовж найкоротшого шляху у конфігураційному просторі, метрика якого визначається розподілом мас.

Висновки. Лагранжів та гамільтонів формалізми забезпечують універсальний підхід до моделювання складних механічних систем, трансформуючи геометричні в'язі у внутрішні властивості динамічних рівнянь.

Література.

1. Manuel de León, Juan C. Marrero, & David Martín de Diego. Mechanical Systems with Nonlinear Constraints. International Journal of Theoretical Physics, Vol. 36, No. 4, pp. 979–995, April 1997. Springer Nature. DOI: 10.1007/BF02435796

2. Olga Krupková, Petr Volný. Euler–Lagrange and Hamilton equations for non-holonomic systems in field theory. Journal of Physics A: Mathematical and General, Vol. 38, No. 38, pp. 8715–8745, 2005. Institute of Physics Publishing. DOI: 10.1088/0305-4470/38/38/001

Математичне моделювання структурно-параметричного синтезу delta-маніпулятора

Федір Лук'янко, Наталія Семінська
Національний технічний університет України «Київський політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

Вступ. Сучасне пакувальне обладнання харчових виробництв характеризується високою швидкістю та необхідністю точного переміщення продукції. Delta-маніпулятори, як функціональні мехатронні модулі, забезпечують найвищу динаміку в задачах pick-and-place. Проте ефективність їх застосування залежить від раціонального поєднання геометричних параметрів важелів та характеристик приводів. Традиційні методи розрахунку часто ігнорують складну взаємодію підсистем, що обумовлює необхідність створення комплексної математичної моделі структурно-параметричного синтезу для оптимізації конструкції.

Методи досліджень. В основу моделювання покладено структурно-параметричний синтез із застосуванням багатокритеріальної оптимізації. Валідація моделі здійснювалася шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання в середовищі FluidSim, а також з використанням статистичних методів обробки результатів.

Результати та обговорення. Під час синтезу Delta-маніпулятора як складного вузла пакувальної машини виявлено, що на робочу зону та динамічну стійкість суттєво впливає співвідношення довжини тяг паралелограма та радіусів нерухомої і рухомої платформ. Нанесення параметричних обмежень дозволяє формувати ортогональну множину допустимих рішень за критеріями досяжності та вантажопідйомності. При цьому, крім геометричних характеристик, істотний вплив на продуктивність надають такі технологічні параметри, як максимальне прискорення приводів та маса захватного пристрою. Випробування (рис.1) моделі на відповідність заданим траєкторіям проводили за допомогою віртуальних датчиків у середовищі моделювання FluidSim. Похибка позиціонування в межах робочої зони при максимальних швидкостях становила не більше 0,5 %. Швидкість переміщення платформи в ході симуляцій варіювалася з метою ідентифікації критичних режимів роботи за відносної похибки встановлення динамічних параметрів ±0,25 %.

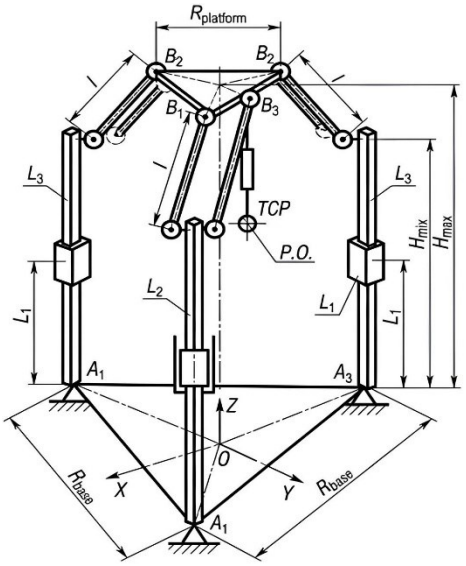


Рис.1. Кінематично-силова схема експериментального Delta маніпулятора

Висновок. Проведено ідентифікацію параметрів раціонального рішення шляхом виконання серії ітераційних розрахунків. Знайдені параметри моделі можуть бути використані при проведенні розрахункових оцінок показників надійності та продуктивності пакувальних машин, де Delta-маніпулятори інтегровані як виконавчі механізми.

Утворення оксидної плівки на поверхні титану

Максим Власов, Анатолій Башта
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Титан – унікальний за своїми властивостями метал. Завдяки унікальним характеристикам його називають металом майбутнього. Титан застосовують там, де людині хочеться перетворити мрію на реальність.

Матеріали і методи. Промисловий спосіб добування титану був розроблений лише у 40-х рр.. XX століття. Титан і його сплави відрізняються низькою зносостійкістю, що ускладнює застосування його для виготовлення деталей, що працюють в умовах фрикційного зносу. При виготовленні, наприклад, різьбових з'єднань спостерігається «задирання» і «намотування» металу. Титан не достатньо стійкий в деяких хімічних середовищах (розчини сірчаної, соляної, фосфорної кислот). Для усунення цих недоліків рекомендується застосування оксидних покриттів. Оксидування проводиться анодною обробкою деталей в розчинах сірчаної, щавлевої, фосфорної, хромової кислот або їх сумішей, іноді з добавками інших компонентів.

Результати та обговорення. Після низки проведених дослідів було доведено. що оксидування титану підвищує хімічну стійкість металу та змінює забарвлення його поверхні. Плівки підвищеної товщини мають гарну адсорбційну здатність. Завдяки цьому титан і його сплави застосовуються як конструкційний матеріал в різних промислових військових і цивільних виробництвах в тому числі харчовій та переробній промисловості. Де вони надійно і тривало експлуатуються в багатьох агресивних середовищах в діапазоні температур від наднизьких до + (500 – 600) $^{\circ}C$ і вище. Обшиті листами титану корпуси суден ніколи не потребують фарбування, адже вони десятиліттями не іржавіють і не руйнуються під дією морської води і солей в ній. А ерозійна і кавітаційна стійкість дозволяє не боятися великих швидкостей в морській воді: зважені в ній міріади піщинок не шкодять титановим рулям, гвинтам і корпусу.

Одним із основних споживачів титанової продукції є Також авіаційна промисловість. Аж до кінця 60-х років XX- го століття титан застосовувався головним чином для виготовлення газових турбін двигунів літаків оскільки титан є дуже міцним матеріалом і за цією характеристикою. Зараз із титану виготовляють обшивку для літака. Силові несучі елементи. Деталі шасі і т. п.. В авіаційних двигунах жароміцні титанові сплави застосовуються для виготовлення лопаток турбін . дисків та інших конструкційних елементів вентилятора і компресора турбіни двигуна.

Отримавши оксидну плівку на поверхні титану стало можливим використання його в космосі де панує практично 100% вакуум і крижаний холод. І будь - яке штучне тіло, що знаходиться в космосі, охолоджується до дуже низьких температур. З іншого боку, апарат дуже сильно розігрівається, якщо попадає під дію сонячного проміння. Крім того, стінки космічного корабля бомбардуються космічними частинками, що летять з величезною швидкістю, і знаходяться під дією космічної радіації. Такі надважкі умови мають можливість витримати тільки високолеговані стальні сплави. вольфрам, платина і титан. Перевага звичайно віддається титану і його сплавам.

Висновок. Завдяки утворенню оксидної плівки на поверхні титану він може і використовується для виготовлення деталей і конструкційних елементів. Що змушені працювати в різних агресивних середовищах і агрегатних станах.

Визначення границі втоми модифікованого матеріалу ВТ10 при циклічних навантаженнях

Максим Власов, Анатолій Башта
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Поліпшення характеристик міцності матеріалів шляхом обробки зміцнюючими покриттями робочих поверхонь конструкційних елементів а саме: високотемпературними газовими середовищами, просякнення їх різними речовинами, створення композитів тощо, дає можливість суттєво модифікувати сучасні конструкційні матеріали. В той же час викликає необхідність вивчення їх фізико-механічних властивостей, оскільки такі технологічні методи призводять до утворення структурної неоднорідності матеріалу елементів конструкції.

Методи досліджень. Однією з ефективних, а відповідно і прогресивних технологій є лазерно-радіаційна і акустична обробка поверхонь матеріалу, яка змінюючи структуру його поверхневих шарів. Створює, таким чином, загальну неоднорідність в поперечних перерізах зразків, що досліджувалися.

Результати та обговорення. Визначення характеристик міцності матеріалу зразків, які піддавалися впливу вказаних фізичних полів, проводилися на модернізованій випробувальній установці ЧКЗ - 1, що дає змогу проводити випробування матеріалів на втому при чистому круговому згині в умовах нормальних температур. Особливістю вузла навантаження є не тільки широкий діапазон амплітуд повторно-змінних механічних навантажень (від 100 Па до 880 Па), але й відносно висока точність установлення та підтримання діючого на зразок навантаження. Відносна похибка визначення амплітуд змінних навантажень не перевищує 1,5 % при частоті коливань від 10 до 120 Гц.

Для проведення досліджень було вибрано стандартний круглий зразок з концентратором конічного виду в його робочій зоні. Тривалість і рівень впливу та його інтенсивність на кожну окрему партію зразків підбиралися дослідним шляхом. Результати випробувань зразків попередньо підданих дії вибраного одного фактора чи їх комбінації порівнювалися й аналізувалися з даними еталонної партії. При статистичному обробленні результатів досліджень проводилися визначення основної відносної похибки і порівнювалися з нормативними значеннями.

Дослідження характеристик міцності матеріалу неоднорідної, після лазерної, радіаційної та акустичної обробки структури, проводилися на зразках, виготовлених із тугоплавкого вольфрам-титанового сплаву ВТ10. Для рівномірного розподілу енергії мілісекундних імпульсів лазерного опромінення на поверхні зразка та для запобігання плавленню металу в локальних місцях нами використовувалося епоксидополімерне, з наповненням алюмінієвим порошком, покриття його робочої зони.

Схема покриття показана на рисунку.

Аналіз експериментальних даних на втому ВТ10 дозволяє стверджувати, що після лазерної обробки зразків при значних навантаженнях відбувається відчутне зменшення їх міцності. За допомогою термопар встановлено, що зразки після такої обробки під час випробування нагрівалися набагато інтенсивніше порівняно із необробленими. Добре відомо, що величина температури нагрівання зразків під час циклічних навантажень залежить як від величини виникаючих залишкових напружень, так і від швидкості руху вільних дислокацій.

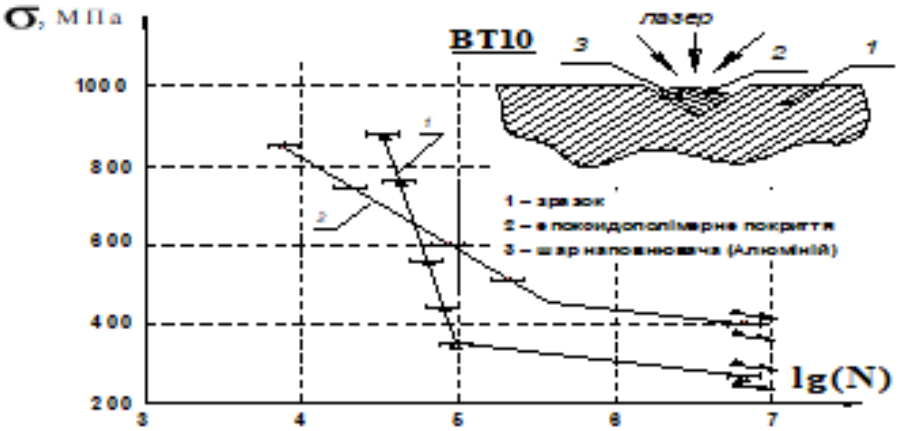


Рис. Схема покриття

І тому можна стверджувати, що зменшення міцності на втому, при великих значення діючих напружень, відбувалося через виникнення далекодіючих полів залишкових напружень у матеріалі.

Такі напруження, вважаємо, зумовлені утворенням нітридів титану в його поверхневих шарах. Дослідження зразків після випробувань дало можливість встановити дві характерні зони їх руйнування: в поверхневому об'ємі вона крихка, а в основному тілі зразка – в'язка.

Відмічено незначне зниження мікротвердості поверхні зумовлено, на наш погляд, також виникненням у периферійних шарах матеріалу вказаних залишкових напружень, викликаних лазерним опромінюванням. Водночас необхідно відмітити суттєве зміцнення зразків після комбінованої дії – спочатку лазерне азотування, а потім радіаційне їх опромінювання в зоні напружень близьких до границі витривалості. Так зростання значення величини границі витривалості становило майже 18%, див. рис.

Лазерне азотування зразків перед випробуваннями на втому проводилося в середовищі рідкого азоту. Промінь лазера падав на поверхню зразка і, пройшовши через шар рідкого азоту, спричиняв вибухове його випаровування з утворенням в поверхневих шарах матеріалу нітридів титану. Тривалість лазерного імпульсу становила 50 н.с., довжина хвилі та щільність потужності випромінювання складали відповідно $\lambda = 1{,}6$ см і $P=2\cdot10^9$ Вт/см^2.

При такому методі обробки мікротвердість досліджуваних матеріалів в поверхневих шарах зросла на 35-38%.

Висновок. Поверхнева лазерна обробка більшості досліджуваних матеріалів (ВТ8, ВТ10) негативно впливає на їх характеристики втомленості при значних величинах діючих навантажень. Це зумовлено, на наш погляд, зміною структури приповерхневих шарів, досить значними полями залишкових напружень, а також більш інтенсивним окисленням граней мікротріщин, поверхонь пустот, раковин, одночасним існуванням декількох фаз металів, складним розподілом легуючих елементів, що є характерним для «складних» матеріалів.

Класифікація робочих органів бісерних млинів та способи підвищення енергоефективності процесу надтонкого подрібнення

Олександр Бородиня, Катерина Грінінг-Гера
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Енергоефективність бісерних млинів критично залежить від гідродинамічних процесів, що визначаються геометрією робочих органів. Попри технологічну досконалість млинів від лідерів ринку (WAB, NETZSCH, Bühler), питання оптимізації їхнього робочого простору залишається актуальним. Ефективність процесу прямо залежить від конструкції робочого органу.

Матеріали і методи. Аналітичні дослідження проведені на основі аналізу сучасних наукових літературних джерел.

Результати. Проведений аналіз сучасного обладнання провідних виробників (WAB, NETZSCH, Bühler) дозволяє класифікувати робочі органи за геометричними та функціональними ознаками. Встановлено, що за орієнтацією робочої камери найбільш ефективними для надтонкого помелу є горизонтальні системи (типу DYNO®-MILL від компанії WAB або Alpha від компанії NETZSCH), які забезпечують рівномірний розподіл енергії по всьому об'єму.

Основними типами робочих органів, що використовуються в сучасній практиці є:

1. **Дискові системи:** класичне рішення для систем низької та середньої в'язкості. Енергоефективність обмежується наявністю ламінарних шарів суспензії.
2. **Пальцеві (Pin-type) системи:** (наприклад, серії Centex від компанії Bühler або Alpha від компанії NETZSCH), що характеризуються високою густиною енергії. Вони створюють інтенсивне турбулентне поле, що дозволяє досягати розміру частинок <100 нм при менших витратах часу.
3. **Роторно-відцентрові (Turbine-type):** системи з високою сепараційною здатністю (наприклад, серія ECM-AP), що дозволяють використовувати бісер мінімальних діаметрів (0,05-0,1 мм), суттєво підвищуючи ККД процесу.
4. **Комбіновані (Hybrid) та занурювальні (Basket) системи:** орієнтовані на швидку зміну продукту та мінімізацію втрат матеріалу.

Дослідження показують, що енергоефективність процесу підвищується при переході від макроскопічного змішування до цілеспрямованої передачі імпульсу мелельним тілам.

Висновки. 1. Класифікація існуючих конструкцій дозволяє виявити перспективні напрями модернізації обладнання для суттєвого зниження питомих витрат енергії при збереженні високої якості готової суспензії.

2. Використання робочих органів з модифікованою морфологією (ексцентрикові диски, штифти з оптимізованим кроком) дозволяє усунути «застійні зони» у камері, де енергія витрачається лише на нагрів, а не на руйнування частинок.

Література.

1. Willy A. Bachofen AG (WAB-GROUP). Режим доступу: https://www.wab-group.com/.
2. NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH. Режим доступу: https://www.netzsch-grinding.com/.
3. Bühler Group: Grinding & Dispersing solutions. Режим доступу: https://www.buhlergroup.com/.

Порівняльна оцінка енергоефективності вертикальних та горизонтальних бісерних млинів при виробництві високодисперсних систем

Денис Панков, Катерина Грінінг-Гера

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Вибір просторової орієнтації робочої камери бісерного млина є визначальним фактором при проєктуванні енергоефективних ліній подрібнення. Попри конструктивну простоту вертикальних апаратів, сучасні вимоги до енергоємності та якості готової суспензії змушують виробників переходити до горизонтальних систем. Метою роботи є аналіз впливу компонувальної схеми млина на питомі витрати енергії та стабільність процесу диспергування.

Матеріали і методи. Аналітичні дослідження проведені на основі аналізу сучасних наукових літературних джерел.

Результати. На основі аналізу експлуатаційних характеристик промислового обладнання (серії ZTO, Bühler SuperFlow — вертикальні; WAB DYNO®-MILL, Netzsch Alpha — горизонтальні) виявлено наступні закономірності:

1. **Гідродинамічна стабільність:** У горизонтальних млинах бісер рухається вздовж осі ротора, що забезпечує рівномірне поле швидкостей. У вертикальних системах під дією сили тяжіння спостерігається гравітаційна стратифікація помельних тіл, що призводить до нерівномірного зносу робочих органів та перевитрат енергії на перемішування ущільненого шару бісеру в нижній частині камери.
2. **Енергетичні показники:** Горизонтальні системи (зокрема з робочими органами типу ECM-AP) дозволяють працювати з вищими об'ємними витратами продукту при стабільному температурному режимі. Це знижує питомі енерговитрати на 10–12% порівняно з вертикальними аналогами при досягненні однакової тонини помелу.
3. **Сфера застосування:** Вертикальні млини (наприклад, моделі БМ від ZTO або IRKOM-ECT, Україна) залишаються ефективними для високов'язких систем та великих партій продукції, де критичним є зручність обслуговування та очищення камери, проте вони поступаються у процесах надтонкого (нано-) подрібнення.

Висновки.

Горизонтальна орієнтація робочої камери забезпечує вищий ККД передачі енергії завдяки усуненню застійних зон та рівномірному розподілу мелельних тіл.

Для процесів виробництва наноматеріалів та пігментів пріоритетним є використання горизонтальних млинів із системами відцентрової сепарації бісеру.

Вертикальні системи доцільно використовувати як енергоощадну альтернативу на стадіях грубого подрібнення або при роботі з матеріалами, що схильні до швидкого осадження.

Література.

1. Willy A. Bachofen AG (WAB-GROUP). Режим доступу: https://www.wab-group.com/.
2. Bühler Group: Grinding & Dispersing solutions. Режим доступу: https://www.buhlergroup.com/.
3. Завод технологічного обладнання (ZTO). Режим доступу: https://zto.com.ua/.
4. Виробник промислового обладнання ТОВ «ІРКОМ-ЕКТ». Режим доступу: https://irkom-ekt.com/.

Ресурсоощадний потенціал корзинчастих бісерних млинів у технологіях малотоннажного диспергування

Олексій Сом, Катерина Грінінг-Гера
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У виробництві спеціалізованих фарб, пігментних паст та фармацевтичних препаратів критичним є мінімізація втрат дороговартісної сировини та енергії на очищення обладнання. Традиційні проточні системи з розвиненою мережею трубопроводів не завжди є ефективними для малих партій продукту. Альтернативним ресурсоощадним рішенням є використання корзинчастих (іммерсійних) млинів, які поєднують процеси змішування та надтонкого подрібнення в одному апараті.

Матеріали і методи. Аналітичні дослідження проведені на основі аналізу сучасних наукових літературних джерел.

Результати. Аналіз конструкцій занурювальних систем (серії DISPERMAT® CA/HCP від VMA-Getzmann, вітчизняні аналоги БМ-1 від ІРКОМ-ЕКТ) дозволив виділити ключові переваги, що сприяють енерго- та ресурсозбереженню:

1. **Мінімізація матеріальних втрат:** Завдяки зануренню робочого органу (корзини з бісером) безпосередньо в діжу з продуктом, відпадає потреба у насосних системах та з'єднувальних шлангах. Це дозволяє практично повністю уникати залишків матеріалу в системі при зміні кольору або складу.
2. **Енергетична інтенсифікація:** Використання патентованих робочих органів (наприклад, типу HCP) всередині корзини забезпечує високу циркуляцію суспензії крізь шар бісеру. Дослідження показують, що за рахунок усунення «мертвих зон» поза межами корзини, час досягнення цільової дисперсності скорочується на 20–25% порівняно зі звичайними дисольверами.
3. **Оптимізація теплообміну:** Сучасні моделі корзинчастих млинів обладнані подвійними стінками корзини та діжі, що дозволяє точно контролювати температуру процесу. Це запобігає деструкції термочутливих компонентів і зменшує витрати води на охолодження.

Висновки.

Корзинчасті млини є найбільш ресурсоефективним рішенням для виробництва високодисперсних систем у межах малих та середніх партій (до 500–1000 л).

Застосування занурювальних систем дозволяє знизити питомі витрати електроенергії за рахунок інтенсивної циркуляції та скорочення часу технологічного циклу.

Подальший розвиток конструкцій (зокрема вітчизняного виробництва ІРКОМ-ЕКТ) відкриває можливості для імпортозаміщення та впровадження принципів гнучкого виробництва на хімічних підприємствах України.

Література.

1. Willy A. Bachofen AG (WAB-GROUP). Режим доступу: https://www.wab-group.com/.
2. Виробник промислового обладнання ТОВ «ІРКОМ-ЕКТ». Режим доступу: https://irkom-ekt.com/.
3. NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH: Basket Mill technology. Режим доступу: https://www.netzsch-grinding.com/

Розробка шафи керування для мехатронного модуля дозування рідких харчових продуктів

Дмитро Воронков, Ірина Полющенко

Київський фаховий коледж комп'ютерних технологій та економіки Державного некомерційного підприємства "Державний Університет "Київський Авіаційний Інститут", Київ, Україна

Вступ. Автоматизація процесів дозування та фасування є критично важливою для сучасних підприємств харчової промисловості, оскільки забезпечує високу точність відмірювання, стабільність технологічних параметрів та мінімізацію втрат продукції. Впровадження мехатронних модулів дозволяє реалізувати безперервне виробництво з мінімальною участю обслуговуючого персоналу, що підвищує продуктивність та знижує собівартість продукції.

Методи досліджень. Для проведення і опрацювання результатів дослідження застосовано структурно-функціональний аналіз технологічного процесу дозування, синтез системи автоматичного керування на базі програмованих логічних контролерів, методи комп'ютерного імітаційного моделювання роботи модуля, а також розрахунково-аналітичні методи вибору та обґрунтування технічних засобів автоматизації.

Результати та обговорення. Під час розробки шафи керування для мехатронного модуля дозувально-фасувального типу було проаналізовано технологічний процес дозування рідких харчових продуктів (молоко, соки, олія, сиропи). Розподіл пневматичних сигналів забезпечує пневмоострів FP2RMSA-2MBCAV-6Q, що дозволяє спростити монтаж та підвищити надійність системи.

Рис. 1. Функціональна схема системи керування дозувально-фасувального модуля

Висновок. Наведено результати розробки шафи керування для мехатронного модуля дозування рідких харчових продуктів. Виявлено суттєвий вплив інтеграції програмованого логічного контролера на точність дозування рідких харчових продуктів, що підтверджується зменшенням відхилень від заданого об'єму до ±0.5%. Доведено, що використання централізованого пневмоострова спрощує монтаж, діагностику та обслуговування системи, зменшуючи час переналагодження на 30%. Розроблена система може застосовуватись для дозування широкого спектру рідких харчових продуктів різної в'язкості. Перспективи подальших досліджень включають розробку адаптивних алгоритмів компенсації впливу температури продукту на точність дозування та інтеграцію модуля у промислові мережі IoT для віддаленого моніторингу та діагностики.

Модернізація вузла керування маніпулятора на основі електропневмопривода

Валерія Мязіна[1], Ірина Полющенко[1], Сергій Володін[2]
[1]Київський фаховий коледж комп'ютерних технологій та економіки Державного некомерційного підприємства "Державний Університет «Київський Авіаційний Інститут», Київ, Україна
[2]Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Автоматизація маніпуляційних операцій у сучасному промисловому виробництві є одним із пріоритетних напрямків розвитку мехатронних систем. Модернізація системи керування електропневмоприводом дозволяє суттєво підвищити точність позиціонування, швидкодію та гнучкість виробничих процесів. Інтеграція програмованих логічних контролерів та сучасних пневматичних компонентів створює передумови для впровадження адаптивних алгоритмів керування маніпуляторами.

Методи досліджень. У роботі застосовано методи аналізу існуючих технічних рішень з автоматизації маніпуляторів, структурно-функціональний синтез системи керування, комп'ютерне імітаційне моделювання динаміки пневматичних приводів, а також розрахунково-аналітичні методи обґрунтованого вибору компонентів електропневматичної системи.

Результати і обговорення. У проєкті розроблено модернізований вузол керування пневматичного маніпулятора з трьома ступенями рухливості: горизонтальне переміщення, вертикальне переміщення та обертання навколо вертикальної осі. Структура системи включає три незалежні контури автоматизації: контур горизонтального переміщення, контур вертикального переміщення та контур виявлення об'єкта (рис. 1). Конструктивно маніпулятор виконано на алюмінієвому каркасі, що забезпечує жорсткість і малу масу системи. Для реалізації лінійних переміщень використано пневмо-циліндри. Обертальний рух забезпечує поворотний пневматичний привід. Для захоплення об'єктів застосовано пневматичний захват із паралельними губками Camozzi CGSY-16.

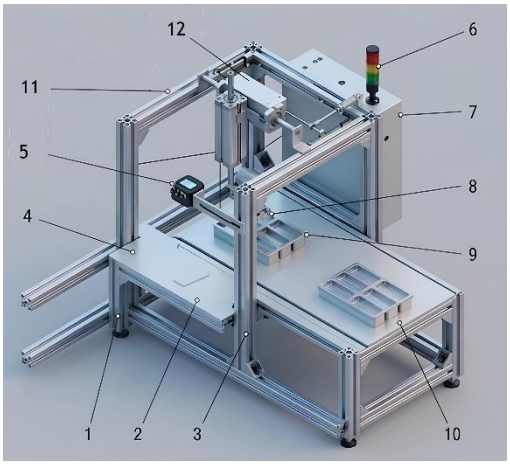


Рис. 1. Структурна 3D схема пневматичного маніпулятора: 1 – опорна стійка; 2 – базова платформа; 3 – вертикальна опора; 4 – нижня напрямна; 5 – панель керування; 6 – світлова колона; 7 – шафа керування з пневмоостровом; 8 – пневматичний захват; 9 – лоток для деталей; 10 – головна базова плита (робочий стіл); 11 – верхня горизонтальна напрямна; 12 – вертикальний пневмоциліндр.

Робочий цикл маніпулятора складається з послідовних кроків із використанням таймерів. Контрольованими параметрами є положення штоків пневмоциліндрів, наявність об'єкта в зоні захоплення та робочий тиск у пневмосистемі.

Висновок. Розроблена система може застосовуватись для різноманітних операцій пакувального призначення. Подальші дослідження спрямовані на розробку адаптивних алгоритмів керування та інтеграцію системи технічного зору для підвищення автономності маніпулятора.

Section 15

Processes and apparatus of food productions

Секція 15

Процеси та апарати харчових виробництв

Сучасні шляхи підвищення ефективності процесів сушіння у харчовій промисловості

Дмитро Лобур
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

Вступ. Процеси сушіння є критично важливими для харчової промисловості, оскільки забезпечують збереження якості продукції, подовження термінів її зберігання та зниження витрат на транспортування і зберігання [1] .

Матеріали і методи. Огляд виконано на основі системного аналізу наукових праць, присвячених проблемам втрат білка у процесі виробництва сирів.

Результати. У харчовій промисловості застосовують конвективні, контактні, терморадіаційні, діелектричні, акустичні та сублімаційні способи сушіння, серед яких найпоширенішим є конвективний [2].

Водночас розвиток технологій сприяє переходу до ефективніших комбінованих методів, що підвищують продуктивність обладнання та зменшують енерговитрати. Встановлено, що використання інфрачервоного випромінювання під час сушіння зерна ячменю прискорює процес і знижує споживання енергії. Також досліджено інтенсифікацію сушіння за рахунок «іонного вітру» — руху повітря під дією електромагнітного поля. Окремо варто відзначити добре вивчений метод підсилення сушіння із застосуванням НВЧ-полів.

Важливим підходом є збільшення площі контакту між матеріалом і сушильним агентом, зокрема при фільтраційному сушінні, хоча цей ефект обмежений дисперсністю частинок. Перспективним є компресійно-фільтраційне сушіння [3-4], що враховує пористу та пружно-пластичну структуру матеріалу: при навантаженні пористість зменшується, а після його зняття — відновлюється, що сприяє проникненню сушильного агента в пори.

Висновки. Основними напрямами зниження енергоємності є розвиток комбінованих методів і збільшення площі контакту фаз для інтенсифікації тепло- та масообміну.

Література

1. Shynkaryk, M., Kravets, O., Papernyak, R., & Lukiyanchuk, B. (2026). Determining the influence of equipment used in modern cottage cheese production lines on the quantitative and dispersed composition of cheese dust. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(11 (139), 14–22.

2. Лобур Д.Ю. Шляхи зниження енергоємності процесів сушіння дисперсних матеріалів / Д.Ю. Лобур, О.І. Кравець // зб. тез доп. XIII Міжн. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11-12 грудня 2024 р. Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 335-336.

3. Кравець О.І. Особливості фільтраційно-компресійного сушіння харчових мас / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик // матеріали Міжн. наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 14-15 трав. 2020 р. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 223.

4. Кравець В.І. Вплив пористості казеїну на процес його компресійно-фільтраційного сушіння / В.І. Кравець, М.А. Стадницький, М.М. Шинкарик, О.І Кравець // мат. Міжнародної науково-практичної конференції: «Біотехнології продовольчих продуктів: проблеми і перспективи» 10 грудня 2024 р. м. Київ : ДНУ «УкрНДІспиртбіопрод». 2024. С.41-44.

Зміна компресійних властивостей казеїну у процесі його зневоднення

Дмитро Мучка
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

Вступ. Енергоємність сушіння казеїну можна зменшити, знижуючи вологість казеїну-сирцю, що подається у сушарку [1]. Для досягнення цього необхідно підвищити ступінь попереднього видалення вологи з казеїну в центрифузі.

Матеріали і методи. Методика дослідження компресійних властивостей казеїну передбачала визначення зміни його об'ємних характеристик під дією прикладеного тиску з фіксацією параметрів пористості та стисливості [2-5]. Експеримент проводили шляхом поетапного навантаження зразка з одночасним вимірюванням деформації та виділення рідини, що дозволяло встановити залежності між тиском і структурними характеристиками матеріалу.

Результати. Аналіз компресійних властивостей казеїну підтвердив доцільність використання механічного відтиску як ефективного етапу попереднього зневоднення, що сприяє зниженню вологості продукту та підвищує ефективність подальшого сушіння.

Встановлено залежність питомої швидкості фільтрування від прикладеного тиску, що вказує на необхідність його раціонального регулювання: перевищення рівня 20 кПа призводить до ущільнення шару казеїну, зменшення пористості та погіршення умов виділення сироватки.

Показано, що надмірний тиск спричиняє формування більш щільної структури осаду, яка чинить додатковий опір руху рідини.

Також визначено, що підвищення частоти обертання є доцільним лише до 4200 об/хв, оскільки подальше її зростання не забезпечує суттєвого інтенсифікування процесу та є енергетично недоцільним.

Висновки. Застосування механічного відтиску як попереднього етапу зневоднення казеїну є доцільним і дозволяє підвищити ефективність подальшого сушіння, при умові використання раціональних значень тиску.

Література

1. Лобур Д.Ю. Шляхи зниження енергоємності процесів сушіння дисперсних матеріалів / Д.Ю. Лобур, О.І. Кравець // зб. тез доп. XIII Міжн. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11-12 грудня 2024 р. Тернопіль : ТНТУ, 2024. С. 335-336.

2. Кравець О.І. Дослідження компресійно-фільтраційних властивостей казеїну-сирцю / О.І. Кравець, М.М. Шинкарик, В.І. Кравець, М.А. Стадницький // Таврійський науковий вісник. Технічні науки. №.4, 2024. С. 227-237

3. Shynkaryk M., Kravets O., Venhrynovych S. (2021) Features of pressing the juice from viburnum berries. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 101, no 1, pp. 945–101.

4. Improvement of environmental sustainability of milk processing enterprises / Oleh Kravets, Mariia Shynkaryk, Viktor Kravets // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2024. — Vol 114. — No 2. — P. 111–118.

5. Shynkaryk, M., Kravets, O., Papernyak, R., & Lukiyanchuk, B. (2026). Determining the influence of equipment used in modern cottage cheese production lines on the quantitative and dispersed composition of cheese dust. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(11 (139), 14–22.

Залежність розмірів частинок сирного пилу від жирності основного продукту

Микола Стадницький, Марія Шинкарик, Олег Кравець
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

Вступ. Втрати сировини у вигляді сирного пилу впливають на собівартість готової продукції та ускладнюють подальшу переробку молочної сироватки [1-3].

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження був дисперсний склад сирного пилу у сироватці, отриманій при виробництві сиру кисломолочного з масовою часткою жиру 0,2%, 5%, та 9%. Методика ґрунтувалася на методі ситового аналізу.

Результати. При виробництві сиру кисломолочного спостерігається залежність між жирністю продукту та розмірами частинок сирного пилу – найменші частинки утворюється при виробництві продукту жирністю 0,2% а найбільші – відповідно при виробництві продукту жирністю 9% [4].

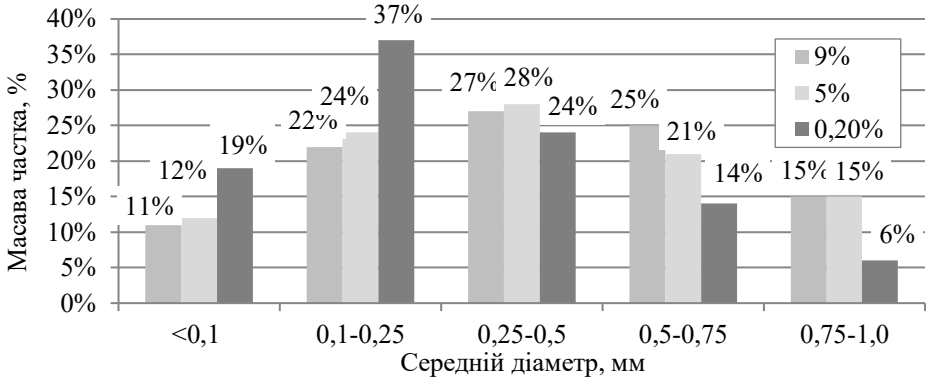


Рисунок. Дисперсний склад сирного пилу у сироватці, отриманій при виробництві продукту жирністю 0,2%, 5% та 9%

Висновки. Очевидно, що залежність розміру частинок сирного пилу від жирності пояснюється впливом жиру на пластичність сирного зерна: менш жирне зерно є більш крихким. Тому при його руйнуванні утворюється більше дрібних частинок.

Література

1. Паперняк Р.В. Комплексний підхід до оцінки машинно-апаратурного забезпечення виробництва сиру кисломолочного/ Р.В. Паперняк, М.М. Шинкарик, О.І. Кравець, Б.Я. Лукіянчук // Таврійський науковий вісник. Технічні науки. №.5, 2024. С. 214-224.

2. Шинкарик М.М. Вдосконалення лінії очистки сироватки / М.М. Шинкарик, В.Г. Юкало, О.І. Кравець // Вісник ТДТУ. – 2005. – № 2. – С. 192-196.

3. Improvement of environmental sustainability of milk processing enterprises / Oleh Kravets, Mariia Shynkaryk, Viktor Kravets // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2024. — Vol 114. — No 2. — P. 111–118.

4. Shynkaryk, M., Kravets, O., Papernyak, R., & Lukiyanchuk, B. (2026). Determining the influence of equipment used in modern cottage cheese production lines on the quantitative and dispersed composition of cheese dust. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(11 (139), 14–22.

Взаємозв'язок між параметрами обробки згустку в сировиготовлювачі та втратами білка у вигляді сирного пилу при виробництві сирів

Олег Кравець, Марія Шинкарик, Роман Паперняк, Микола Стадницький
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

Вступ. Однією з важливих технологічних проблем виробництва кисломолочного сиру кисломолочного є втрати дрібнодисперсної фракції сирного зерна.

Матеріали і методи. Огляд виконано на основі системного аналізу наукових праць, присвячених проблемам втрат білка у процесі виробництва сирів.

Результати. Утворення сирного пилу призводить до зниження виходу продукції, збільшення втрат білка та жиру із сироваткою, а також до погіршення екологічних показників стічних вод [1].

Ключовою операцією, що визначає інтенсивність утворення сирного пилу, є різання сирного згустку, під час якого формуються структурно-механічні властивості сирного зерна, інтенсивність синерезису та ефективність процесів зневоднення [2]. На цій стадії також формується дисперсна структура сирної маси, що визначає масообмінні та реологічні характеристики продукту [3].

Процес різання супроводжується руйнуванням просторової структури казеїнового гелю та утворенням нових поверхонь. Кількість сирного пилу визначається міцністю згустку та рівнем механічних навантажень [4].

Інтенсивність і тривалість різання суттєво впливають на розмір зерна та втрати компонентів. Недостатня інтенсивність сприяє утворенню великих зерен із ризиком їх вторинного руйнування, тоді як надмірна – призводить до пошкодження зерна та зростання втрат білка і жиру

Важливим фактором є також момент початку різання. Передчасне різання незміцнілого згустку збільшує утворення дрібної фракції, тоді як різання при досягненні критичної міцності гелю дозволяє суттєво зменшити втрати дисперсних частинок білка.

Висновки. Обґрунтування раціональних режимів різання і параметрів обладнання є ефективним шляхом зниження технологічних втрат та підвищення ефективності виробництва кисломолочного сиру.

Література

1. Shynkaryk, M., Kravets, O., Papernyak, R., & Lukiyanchuk, B. (2026). Determining the influence of equipment used in modern cottage cheese production lines on the quantitative and dispersed composition of cheese dust. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(11 (139), 14–22.

2. Aldalur, A., Bustamante, M. Á., Salmerón, J., Barron, L. J. R. (2021). Relationships between cheese-processing conditions and curd and cheese properties to improve the yield of Idiazabal cheese made in small artisan dairies: A multivariate approach. Journal of Dairy Science, 104(1), 253–269.

3. Everard, C. D., O'Callaghan, D. J., Mateo, M. J., O'Donnell, C. P., Castillo, M., Payne, F. A. (2008). Effects of cutting intensity and stirring speed on syneresis and curd losses during cheese manufacture. Journal of Dairy Science, 91(7), 2575–2582.

4. Fagan, C. C., Castillo, M., Payne, F. A., O'Donnell, C. P., O'Callaghan, D. J. (2007). Effect of cutting time, temperature, and calcium on curd moisture, whey fat losses, and curd yield by response surface methodology. Journal of Dairy Science, 90(10), 4499–4512.

Інтенсифікація приготування борошняних суспензій у псевдозрідженому шарі

Ігор Стадник
Тернопільський національний технічий університет імені Івана Пулюя м. Тернопіль

Вступ. Модернізація процесів приготування багатокомпонентних борошняних сумішей потребує впровадження високоінтенсивних гідродинамічних режимів. Рівномірність диспергування та кінетика гідратації білково-крохмальних комплексів є детермінуючими факторами формування реологічного профілю тіста та структурно-механічних характеристик готових виробів. Аналіз сучасних досліджень [1, 2] свідчить, що синергетичний ефект інтенсифікації міжфазного масообміну досягається шляхом інтеграції псевдозрідженого (пневмо-вібро-киплячого) стану середовища та дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ). Це дозволяє забезпечити спрямований вплив на мікроструктуру компонентів суміші при мінімальних енерговитратах.

Матеріали і методи. *Об'єктом дослідження* є процес гідратації багатокомпонентних борошняних сумішей у змішувачі з псевдозрідженим шаром. Експериментальна установка реалізує принцип ДІВЕ через циклічне скидання тиску в камері змішування, що ініціює кавітаційні ефекти та мікроруйнування агломератів борошна. Параметри псевдозрідження: частота вібрації — 25–50 Гц, амплітуда — 2–5 мм. Аналіз гранулометричного складу здійснювався методом лазерної дифракції, реологічних властивостей — на фаринографі.

Результати і обговорення. Кінетику гідратації та розчинення твердих частинок борошна у рідинному середовищі розглянуто як процес, керований комбінованими механізмами: масопереносом у граничному шарі, впливом турбулентності (змішування) та доступною поверхнею частинок.

Для кількісного опису процесу гідратації та диспергування борошна використано модифіковане рівняння Нойєса–Вітні. Встановлено, що ефективна константа швидкості k є мультиплікативною функцією фізико-хімічних параметрів сировини: концентрації твердої фази (ϕ), початкової вологості (W) та середнього розміру частинок (d_p):

$$k(\phi, W, d_p) = k_0 \exp(-a_\phi\, \phi) \exp\left(-\frac{(W - W_{op})^2}{2\sigma_W^2}\right) \cdot \left(\frac{d_{po}}{d_p}\right)$$

де k_0 — базова константа; W_{op} — оптимальна вологість (12--14%), що забезпечує максимальну швидкість змочування.

Експоненційне зниження k при зростанні ϕ зумовлене підвищенням в'язкості суспензії та падінням градієнта концентрації, що обмежує дифузійний масоперенос. Степенева залежність $k \propto \left(\frac{1}{d_p}\right)^n$ підтверджує, що інтенсифікація процесу досягається шляхом збільшення питомої площі міжфазного контакту при подрібненні агломератів у режимі ДІВЕ. Гаусова форма залежності пояснюється уповільненим змочуванням при низьких W та схильністю до вторинної агломерації при надмірній вологості. Прогноз зміни поточної концентрації диспергованої фази C(t) у часі описується інтегральною формою:

$C(t) = Cs - (Cs - C_0) \exp(-k(\phi, W, d_p) \cdot t)$

де Cs — рівноважна концентрація насичення.

Отримана модель дозволяє прецизійно прогнозувати час досягнення гомогенності суміші та оптимізувати режими ДІВЕ залежно від дисперсності та

вологості вхідної сировини, що забезпечує стабільність реологічних характеристик тіста.

Висновки. Розроблено комплексну математичну модель кінетики диспергування борошняних сумішей, що враховує взаємозв'язок гідродинамічних та фізико-хімічних факторів.

Доведено, що застосування ДІВЕ дозволяє компенсувати негативний вплив високої концентрації твердої фази на швидкість масопереносу. Модель є інструментом для автоматизації контролю якості на стадії змішування в умовах варіативності властивостей борошна.

Література

1. Yu.Yu. Pankiv, I.Ya. Stadnyk, V.P. Vasylov, T.S. Kos. (2021) Dynamics of interfacial interaction between components during mixing. Coll. of science Proceedings of the Institute of Food Resources of the National Academy of Sciences. K.: BARMY LLC. T. 8. No. 15. 174-184.
2. Stadnyk I., V Piddubnyi, Mykhailyshyn, Petrychenko, V. Fedoriv, V.Kaspru (2021) The influence of rheology and design of modelling rolls on the flow and specific gravity during dough rolling and injection. Journal of Advanced Manufacturing System. Vol. 22, No. 01. 35-48.shttps://doi.org/10.1142/S021.

Визначення оптимальної швидкості руху сортівки через шар адсорбента

Андрій Якименко, Людмила Мельник, Наталія Мельник
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Адсорбційна спроможність природних дисперсних мінералів, їх форма, розмір, механічна міцність відрізняються від активного вугілля. Рекомендуючи їх для очищення сортівок, необхідно визначити оптимальну швидкість руху сортівки через шар адсорбента.

Матеріали та методи. Матеріалом для досліджень було взято палигорськіт фракції 3,0 ÷ 2,0 мм. Адсорбент завантажували в два адсорбери.

Тривалість роботи адсорберів з палигорськітом залежить від висоти шару адсорбента, вмісту домішок у вихідному водно-спиртовому розчині, а, також, від швидкості проходження сортівки через шар адсорбента.

Проби сортівки, які подавали зі швидкостями 10, 20, 30, 40 дал/год. в адсорбер аналізували на хроматографі "КРИСТАЛ-2000" згідно ДСТУ 4222:2003.

Результати та обговорення. Отримані результати досліджень представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Вміст домішок (мг/дм^3) в очищеній палигорськітом (фракція 3,0 ÷ 2,0 мм) сортівці, що пройшла шар адсорбента з різними швидкостями.

№ п/п	Домішки	Вихідна сортівка	Швидкість, дал/год			
			10	20	30	40
1.	Ацетальдегід	5,2	4,1	3,2	2,75	2,5
2.	Метилацетат	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6
3.	Етилацетат	0,4	0,3	–	–	–
4.	Ізопропіловий спирт	+	+	+	+	+
5.	Н-пропіловий спирт	2,4	2,8	2,8	2,4	2,4
6.	Ізобутиловий спирт	0,4	0,5	0,3	0,4	0,1
7.	Н-бутиловий спирт	1,6	0,3	0,3	0,2	0,2
8.	Н-аміловий спирт	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2

Аналізуючи дані табл. 1 бачимо, що ацетальдегід та Н-бутиловий спирт добре адсорбуються при всіх швидкостях руху сортівки через шар адсорбента, але найкраще – при 30 та 40 дал/год. При цій же швидкості вміст ацетальдегіду зменшується втричі, етилацетат адсорбується практично повністю. Вміст домішок в очищеній палигорськітом сортівці, яка пройшла шар адсорбента зі швидкістю 30 дал/год. практично однаковий із вмістом домішок у сортівці, яка мала швидкість 40 дал/год. Дегустаційна оцінка очищеного палигорськітом водно-спиртового розчину, що пройшов зі швидкістю 30 та 40 дал/год. підвищується на 0,2 бала у порівнянні з вихідною.

Висновок. Очищення сортівки палигорськітом ефективніше при швидкості її руху 30, 40 дал/год. При використанні оптимальної швидкості руху сортівки економимо щорічно в межах одного заводу приблизно 24000 кВт/год. електроенергії.

Вплив температури на ефективність зневоднення із парів водно-спиртових сумішей

Андрій Якименко, Людмила Мельник, Наталія Мельник
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Однією із важливих складових при зневодненні парів водно-спиртових розчинів є температура на поверхні адсорбенту та температура самих водно-спиртових парів, якщо процес відбувається при нормальних умовах.

Матеріали та методи. Враховуючі втрати теплоти, що мають місце в процесі адсорбції, коли молекули води при адсорбції у порожнинах адсорбенту конденсуються, необхідно було визначити оптимальну температуру зневоднення. Для цього досліджували концентрацію зневодненого етанолу при різних температурах процесу в інтервалі фазового переходу рідина-пара (80–90 °С). Використовували клиноптилоліт і морденіт.

Результати та обговорення. Процес адсорбції супроводжується виділенням теплової енергії, яка виділяється при переході молекул води з парової фази в адсорбований стан. Цієї теплоти в більшості випадків виявляється достатньо для запобігання конденсації водно-спиртової пари на поверхні адсорбенту, що дозволяє проводити процес зневоднення в оптимальних умовах.

Отримані результати досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Концентрація водно-спиртових розчинів (% об.) після їх зневоднення клиноптилолітом, морденітом при різних температурах (вих. концентр. – 96 % об.)

Об'єм розчину, мл	Концентрація, % об.									
	Температура, °С									
	80		82		85		87		90	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
50	98,8	99	98,0	99,6	99,8	100	99,9	100	99,9	100
100	97,8	98,1	98,0	98,4	98,8	100	98,8	100	98,8	99,9
150	96,2	97,2	96,3	97,6	97,2	99,5	98,2	99,7	98,9	99,7

а – зневоднення клиноптилолітом; б – зневоднення морденітом.

Видно, що при пропусканні малих об'ємів водно-спиртових сумішей при температурі 80–82 °С неможливо досягнути концентрації етанолу 99,8–100 % об., що пояснюється зростанням енергії зв'язку між молекулами води та етилового спирту.

Вона стає вищою за енергію активних центрів адсорбентів, внаслідок чого інтенсивність адсорбції знижується. Крім того при температурах 80–82 °С можлива конденсація водно-спиртової пари на поверхні адсорбенту, що виключає адсорбцію на ділянках, покритих рідинною плівкою і подовжує термін перебування водно-спиртових парів в адсорбері.

При температурі вище 90 °С теплова енергія молекул води виявляється настільки високою, що суттєво переважає енергію активних центрів адсорбенту і більшість молекул адсорбату не може потрапити у вхідні вікна адсорбенту, що знижує інтенсивність адсорбції, збільшуючи енергетичні витрати на виробництво одиниці безводного етилового спирту.

Висновок. Оптимальними температурами парів водно-спиртових розчинів, при яких досягаються високі концентрації спирту є 85–90 °С, які варто рекомендувати до впровадження. Перевагу у використанні має морденіт.

Зневоднення водно-спиртових розчинів цеолітами

Андрій Якименко, Людмила Мельник, Наталія Мельник
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Одержаний з біомаси етанол, який можна використовувати як добавку до бензинів, не потребує зміни у конструкції двигунів автомобілів. Етиловий спирт добре розчиняється в бензині, але бензин – нерозчинний у воді.

Тому, для отримання безводного етанолу його необхідно піддавати додатковій дегідратації, яку можна здійснювати природними мінералами українського походження – цеолітами, зокрема клиноптилолітом та морденітом.

Матеріали та методи. Подрібнені цеоліти фракції 1,0–2,0 мм та 2,0–3,0 мм масою 100 г висушували при температурі 250 °С протягом 5 годин, охолоджували і засипали в адсорбер, який попередньо піддавали вакуумуванню протягом 30 хв. Накопичення спирту здійснювали у приймальній ємності. Отримані проби аналізували на ступінь видалення води пікнометричним методом.

Результати та обговорення. В широкій області концентрацій розчинів (20 ÷ 60 % об.) в адсорбованій фазі концентрація води значно більше, ніж в об'ємі, що свідчить про вибіркову адсорбцію води в цій області. Максимальне підвищення вмісту води в адсорбованій фазі над об'ємним досягається при концентрації 40 % об., що є характерною у визначенні деяких харчових цінностей цих сумішей.

При концентрації розчинів вище 60 % об. спостерігається явище від'ємної адсорбції, тобто вміст води в адсорбованій фазі не відрізняється – явище адсорбційної азеотропії.

Співставивши поведінку активності води в об'ємній та в адсорбованій фазах при малому її вмісту в розчині (4 % і менше) бачимо, що активність води в поверхневій фазі буде дуже малою. При малій концентрації води в спиртовому розчині виникає конкуренція за її розташування в об'ємі чи на поверхні адсорбента і тому, повного зневоднення водно-спиртового розчину досягти неможливо.

Отримані дані ефективності зневоднення водно-спиртових розчинів клиноптилолітом та морденітом свідчать, що морденіт фракції 1,0–2,0 мм краще адсорбує воду, ніж цеоліт фракції 2,0–3,0 мм, що пояснюється збільшенням відносного вкладу зовнішньої поверхні в адсорбційну спроможність цеоліту. Адсорбційний ефект буде зростати при подальшому зменшенні розміру дисперсних часток. Але при цьому суттєво погіршується фільтраційна здатність дисперсії.

Висновок. Зневоднення водно-спиртових розчинів можна здійснювати із рідинної фази природними дисперсними мінералами: клиноптилолітом та морденітом. Проте досягти повного зневоднення етанолу із рідинних розчинів неможливо. Адсорбція води із водно-спиртових сумішей краще здійснюється морденітом фракції 1,0–2,0 мм, ніж клиноптилолітом.

Дослідження гідромеханічних процесів при екструзійній обробці крохмалевмісної сировини

Денис Лузько, Олександр Шевченко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Екструзія є одним із найінтенсивніших способів обробки сировини в харчовій промисловості, що забезпечує в одному технологічному процесі транспортування, стиснення, нагрівання, пластифікацію та формування продукту. Параметри готових екструдатів, зокрема ступінь розширення, хрусткість і водопоглинальна здатність, значною мірою визначаються термодинамічними умовами в зоні передматричного каналу, а також конструктивними особливостями робочих органів екструдера. Неналежно вивчена трансформація в'язкопластичних властивостей сировини під впливом високих напружень зсуву часто стає причиною нестабільності геометричних розмірів готової продукції.

Матеріали і методи. Дослідження здійснювали на лабораторному екструдері з одношнековою конструкцією, який мав співвідношення довжини до діаметра L/D = 20. У якості досліджуваного матеріалу використовувалася кукурудзяна крупа з початковим рівнем вологості в межах 14–18%. Для контролю тиску і температури розплаву в зоні гомогенізації застосовували комбіновані датчики, здатні витримувати високий тиск. Частоту обертання шнека змінювали в діапазоні від 150 до 350 об/хв. Ступінь декстринізації крохмалю аналізували методом ферментативного гідролізу, а рівень пористості отриманих екструдатів визначали за допомогою методу витіснення об’єму сипучим середовищем.

Результати. Дослідження показали, що крохмальний розплав у каналі екструдера проявляє властивості неньютонівської рідини із яскраво вираженим псевдопластичним характером течії. При збільшенні швидкості обертання шнека з 150 до 300 об/хв спостерігається зниження ефективної в’язкості розплаву на 25–30%. Це явище можна пояснити механічною деструкцією молекул амілози та амілопектину, спричиненою дією напружень зсуву, що, у свою чергу, сприяє легшому проходженню матеріалу через матрицю.

Встановлено, що ключовим чинником для формування якісної пористої структури екструдату є градієнт тиску на виході з фільєри. При тиску в зоні матриці в межах 6,5–8,0 МПа та температурі 145–160 °C відбувається миттєве випаровування вологи завдяки вибуховому ефекту. Це забезпечує розширення екструдату до коефіцієнта 3,5–4,2. Разом з тим, перевищення вологості сировини понад 20% спричиняє підвищення її в'язкості та зменшення температури дисипативного нагріву. Унаслідок цього кінцевий продукт стає надмірно щільним і набуває "гумової" текстури.

Питомі витрати механічної енергії в оптимальному режимі склали 0,12–0,15 кВт·год/кг. Дослідження показали, що до 70% теплових потреб покриваються за рахунок енергії, яка витрачається на тертя (дисипацію). Це дає змогу суттєво зменшити витрати на зовнішній електричний обігрів корпусів екструдера.

Висновки. Результати проведених досліджень дозволили визначити оптимальні параметри екструзії кукурудзяної крупи: вологість сировини в межах 15–16%, частота обертання шнека 280–300 об/хв, температура перед матрицею 155°C. Ці показники стали основою для розробки геометрії шнеків із прогресивним кроком навивки, що забезпечує стабільну роботу обладнання та високу якість кінцевого продукту.

Дослідження кінетики та енергетичних параметрів процесу сублімаційного сушіння плодово-ягідної сировини

Софія Патюк, Олександр Шевченко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сублімаційне сушіння, що полягає у видаленні вологи із замороженого стану, оминаючи рідку фазу, дозволяє зберегти майже незмінними вітамінний склад, природний колір, аромат і пористу структуру харчових продуктів. Проте розширене використання цього методу має обмежене використання через його високу енергоємність і значну тривалість циклу. Це обумовлено низькою інтенсивністю теплопідведення в умовах глибокого вакууму. Найбільшим обмеженням є етап видалення адсорбційно-зв'язаної вологи (десорбція).

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження були ягоди малини сорту «Полана», які попередньо заморожували до -35°C із швидкістю охолодження 1,5°C за хвилину. Експерименти проводили на лабораторній установці сублімаційного сушіння, оснащеній системою автоматичного контролю маси зразків та залишкового тиску в камері, що підтримувався у межах 20–60 Па. Передача тепла до продукту здійснювалась комбінованим методом, який включав кондуктивний вплив від полиць і інфрачервоне випромінювання. Для моніторингу температури як на поверхні, так і всередині продукту використовували мікротермопари. Оцінка якості кінцевого продукту виконувалась шляхом визначення коефіцієнта регідратації та аналізу вмісту антоціанів.

Результати. Процес сушіння було поділено на три ключові етапи: самозаморожування під вакуумом, основний період сублімації льоду та заключний етап теплового досушування. Досліджено, що при залишковому тиску 40 Па температура в зоні сублімації зберігається стабільною в межах -22...-25°C. Установлено, що інтенсифікація на першій стадії шляхом підвищення температури плит до +45°C дає змогу зменшити загальну тривалість процесу на 15%. Водночас, на етапі десорбції (коли рівень залишкової вологості опускається нижче 10%), необхідно суворо контролювати температуру, не перевищуючи позначки +40°C, щоб уникнути небажаного меланоїдиноутворення та втрати ароматичних складників.

Аналіз кривих сушіння показав, що приблизно 60% часу процесу, витрачається на видалення вільної вологи (льоду), тоді як усунення решти 5–8% вологи займає близько 40% часових ресурсів. Застосування циклічного підведення інфрачервоного випромінювання в імпульсному режимі дозволило збільшити температурний градієнт у сухому шарі продукту, запобігаючи при цьому його перегріву. У результаті отримані сублімовані ягоди мали пористість 85–90% і здатність відновлювати свій об'єм у воді до 95% вже за 3 хвилини. Втрати вітаміну С у порівнянні з початковою сировиною були мінімальними й становили не більше 7%, що є значно кращим результатом порівняно з будь-яким традиційним методом теплового сушіння.

Висновки. Дослідження підтвердили, що застосування глибокого вакууму (40 Па) у поєднанні з імпульсним інфрачервоним підведенням енергії забезпечує найкращий баланс між тривалістю процесу та якістю сушіння малини. Встановлені температурно-часові режими сублімації дозволяють скоротити загальний цикл сушіння на 3,5–4 години. Отримані результати можуть бути використані для створення автоматизованих систем управління в промислових ліофілізаторах періодичної дії.

Дослідження гідродинамічних процесів розділення емульсій у міжтарілчастому просторі саморозвантажувальних сепараторів

Софія Галайчук, Олександр Шевченко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сепарування є одним із найефективніших і водночас найінтенсивніших способів розділення рідких неоднорідних систем у галузі харчових технологій. У молочній промисловості цей процес відіграє ключову роль у виробництві вершків, знежиреного молока, а також у видаленні механічних забруднень і бактеріальних домішок. Ефективність роботи сепараційного обладнання визначається головним чином такими факторами, як геометрія тарованого пакету барабану, швидкість його обертання та фізико-хімічні характеристики вхідної суміші. Основна складність полягає в тому, що за високих обертів утворюються турбулентні потоки та зони рециркуляції, які ускладнюють осадження дрібних жирових кульок.

Матеріали і методи. Предметом дослідження було незбиране коров'яче молоко з жирністю 3,8% та середньою температурою сепарування 40–45°C. Експерименти здійснювалися на напівпромисловому сепараторі-вершковідділювачі за частоти обертання барабана у діапазоні 6000–8000 об/хв. Конструкція барабана складалася з пакета із 55 конічних тарілок, нахил твірної яких становив 45°. Визначення вмісту жиру в знежиреному молоці проводилося методом Гербера. Для гідродинамічного моделювання потоків застосовували рівняння Нав'є-Стокса, що описують поведінку тонкого шару рідини в умовах відцентрових сил.

Результати. Дослідження показало, що основний процес розділення відбувається в тонкому проміжку між тарілками, де відстань становить 0,5–0,8 мм. Було визначено критичний діаметр жирових кульок, які можуть бути виділені за заданих умов продуктивності. Встановлено, що при перевищенні подачі молока понад 1200 л/год ефективність сепарації суттєво знижується через скорочення часу перебування часток у зоні розділення.

Було експериментально визначено, що оптимальна температура сепарації на рівні 45°C зменшує в'язкість молочної плазми в 1,8 раза порівняно з температурою 20°C. Це, відповідно до закону Стокса, сприяє значному підвищенню швидкості спливання жирових кульок. За частоти обертання 7500 об/хв вдалося досягти вмісту жиру у фугаті в межах 0,03–0,05%, що повністю відповідає сучасним стандартам галузі. Додатково було досліджено вплив забруднення пакету тарілок білковим осадом. Виявилося, що через 2 години безперервної роботи без видалення осаду ефективність розділення знижується на 12% через звуження міжтарілчастих каналів. Оптимальний інтервал між частковими розвантаженнями барабана для даної сировини розраховано і встановлено на рівні 45–60 хвилин.

Висновки. Результати проведених досліджень сприяли удосконаленню конструктивних характеристик тарілок сепаратора, зокрема визначенню оптимального кута нахилу та кількості отворів для підйому молока. У ході роботи встановлено, що досягнення стабільно низького рівня жиру в знежиреному молоці можливе за умов підтримання ламінарного режиму потоку в міжтарілчастому просторі. Це забезпечується шляхом коригування протитиску на лінії виходу вершків. Отримані результати були використані для розробки розрахунків продуктивності нових моделей високошвидкісних герметичних сепараторів.

Інтенсифікація масообміну в системі «газ-рідина» за рахунок використання ефекту Марангоні

Назар Ковалевський, Олена Ковальчук, Володимир Зав'ялов, Тарас Мисюра
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Дослідження механізмів міжфазної турбулентності є стратегічно важливим завданням для сучасної промисловості. Оптимізація цих процесів дозволяє значно підвищити продуктивність обладнання, знизити енерговитрати та впровадити екологічно безпечні технології. Одним із найбільш перспективних методів інтенсифікації масопередачі є використання ефекту Марангоні – виникнення конвективних потоків внаслідок градієнта поверхневого натягу.

Методологія досліджень. Експериментальні дослідження проводилися на базі лабораторної турбінної мішалки відкритого типу, обладнаної відбивними перегородками. Для оцінки кінетики абсорбції кисню застосовувався непрямий метод десорбції з використанням полярографічного мембранного датчика.

- Робоче середовище: модельна рідина (вода) з додаванням сульфіту натрію (Na_2SO_3) для зв'язування розчиненого кисню.
- Ініціація ефекту: як поверхнево-активна речовина (ПАР) використовувався етанол, що створював необхідний градієнт поверхневого натягу.
- Аналітичний контроль: реєстрація концентрації кисню здійснювалася за допомогою приладу КЛ-115 з подальшою побудовою S-подібних кривих насичення.

Результати та обговорення. В ході експерименту було встановлено, що взаємодія газової та рідкої фаз супроводжується утворенням міжфазних вихорів. Через різницю у в'язкості та швидкості потоків виникають пари сил, що спричиняють обертання прикордонних шарів, що ініціює початкову турбулентність.

Додавання ПАР дозволило активувати ефект Марангоні, який діє як додатковий рушій турбулізації. Основні спостереження включають:

- Підвищення ефективності: за однакових гідродинамічних режимів роботи мішалки, показники абсорбції були значно вищими у системах з додаванням ПАР.
- Механізм дії: градієнт поверхневого натягу провокує інтенсивні локальні пульсації, що призводять до руйнації бульбашок повітря та безперервного оновлення поверхні контакту фаз.
- Об'ємний коефіцієнт масопередачі (K_v): розрахований через час релаксації процесу за тангенсом кута нахилу лінеаризованої залежності $\ln(C_p - C) = f(\tau)$, K_v продемонстрував стійке зростання при стимулюванні міжфазної турбулентності.

Висновки. Практичне застосування ефекту Марангоні є ефективним інструментом для інтенсифікації біотехнологічних процесів, зокрема у виробництві антибіотиків, де критично важливим є якісне змішування та розподіл газів у ферментаційному середовищі. Підтверджено, що цілеспрямована зміна поверхневого натягу дозволяє покращити умови життєдіяльності мікроорганізмів та збільшити вихід цільового продукту.

Література:

1. Qi Mao, Qing-Jun Yang, Yu-Long Li, Wang Cao. Numerical study of the Marangoni effect induced by soluble surfactants and solute based on rising droplets – 2024

Перспективи використання надкритичної флюїдної екстракції в біотехнології

Аліна Чепурда, Марія Ненно, Володимир Зав'ялов, Тарас Мисюра
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. На сучасному етапі розвитку біотехнологічної індустрії постає питання заміни застарілих методів вилучення цільових компонентів на екологічно безпечні та енергоефективні рішення. Одним із найбільш технологічно досконалих методів є надкритичне флюїдне екстрагування, що розглядається як «зелена» альтернатива традиційній рідинній екстракції, бо вона є ресурсозберігаючою, безвідходною та дозволяє отримувати продукти надвисокої чистоти без залишків розчинників.

Методологія досліджень. Системний аналіз фундаментальних вітчизняних та закордонних наукових праць, присвячених термодинаміці надкритичних станів. Було проведено порівняльне співставлення фізико-хімічних констант різних екстрагентів, а також обґрунтовано вибір технологічних параметрів процесу на основі вивчення кінетики масоперенесення в капілярно-пористих структурах рослинної сировини.

Результати та обговорення. Надкритичний флюїд (НКФ) являє собою унікальний агрегатний стан речовини, що виникає при перевищенні критичних значень температури та тиску. У цій точці відмінності між рідкою та газовою фазами нівелюються, що надає флюїду специфічних властивостей:

1. **Дифузійна здатність та в'язкість:** Завдяки низькій в'язкості (характерній для газів) НКФ демонструє надвисоку проникну здатність у мікропори рослинних клітин. Це забезпечує швидкий масопереніс та скорочує тривалість екстракції в кілька разів порівняно з мацерацією.
2. **Розчинна здатність:** Маючи густину, наближену до рідин, НКФ ефективно розчиняє широкий спектр сполук – від низькомолекулярних ефірних олій до складних високомолекулярних комплексів. Висока стисливість флюїду в навколокритичній області дозволяє тонко регулювати його розчинну здатність шляхом незначних змін тиску, що забезпечує високу селективність вилучення.
3. **Переваги діоксиду вуглецю (CO_2):** Незважаючи на існування різних агентів (N_2O, NH_3, SF_3), вуглекислий газ залишається еталонним екстрагентом з параметрами ($T_{кр}$ = 31,1 °C, $P_{кр}$ = 73,8 бар) і є добрими для термолабільних речовин. Процес протікає в інертному середовищі, що виключає окислення біологічно активних речовин (БАР).
4. **Практична реалізація в біотехнології:**

Фармація та нутріціологія: отримання висококонцентрованих вітамінів, антиоксидантів та каротиноїдів (зокрема лютеїну з дріжджів або водоростей).

Харчова галузь: глибоке перероблення рослинної сировини для отримання ароматичних екстрактів, розчинної кави, чаю та безалкогольних напоїв із збереженням нативного профілю смаку.

Аналітична біотехнологія: використання НКФ для виділення специфічних мікробних біомаркерів та очищення ферментних препаратів.

Хоча капітальні витрати на обладнання високого тиску є значними, вони компенсуються низькою собівартістю експлуатації, простотою регенерації екстрагента шляхом декомпресії та відсутністю потреби в додатковій стадії очищення продукту.

Висновки. Результати аналізу підтверджують, що надкритична флюїдна екстракція є стратегічно важливим інструментом для отримання екологічно чистої продукції. Гнучкість управління процесом та можливість збереження повної біологічної цінності екстрактів відкривають широкі перспективи для інтеграції НКФ-технологій у промислові біотехнологічні лінії нового покоління.

Дослідження впливу режимних параметрів на процес конвективного сушіння рослинної сировини

Соломія Годісь, Вероніка Колчева, Володимир Зав'ялов, Тарас Мисюра
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Науковою основою інтенсифікації технологічних процесів є встановлення і використання фізичних ефектів. Для досягнення поставленого завдання підвищення виходу, покращення якості продукту або ресурсозбереження, існують різноманітні методи впливу на перебіг фізико-хімічних, біохімічних, мікробіологічних та масообмінних процесів. Тому недостатня інформація про енерговитрати на процес сушіння призводить до неповного використання його можливостей на стадії проєктування та експлуатації.

Матеріали і методи. Для проведення досліджень використовувалася лабораторна циркуляційна сушильна установка обладнана калорифером з повітродувкою, електронні терези, анемометр для визначення швидкості руху та електроконтактний термометр для регулювання температури сушильного агенту, пристрій для подрібнення матеріалу.

Результати та обговорення. Швидкість сушіння продукту залежить від визначається потенціалом сушіння E, рівним різниці сухого t_c та мокрого $t_м$ термометрів $E = t_c - t_м$.

З підвищенням температури сушильного агенту потенціал сушіння збільшується, що призводить до зростання констант швидкостей реакцій, коефіцієнтів теплопередачі, тепловіддачі, масообміну, дифузії тощо. Крім того одним з ефективних способів впливу на інтенсивність процесу сушіння – є перемішування сировини в сушильній камері, що сприяє збільшенню поверхні контакту фаз та її оновленню.

Під час проведення дослідів яблуко масою 100 г подрібнювали на тонку стружку завтовшки 2–4 мм, завантажували у коробчастий сітчастий контейнер і далі розміщували в сушильну камеру та фіксували зміну його маси під час сушіння кожні 5 хв, і так доти, доки показання терезів переставали змінюватись, тобто – до досягнення матеріалом рівноважного вологовмісту $W_{к2}$. Після зміни параметрів процесу досліди повторювали. Визначалась поточна маса вологи в матеріалі на початку і в ході сушіння, а також вологовміст матеріалу на i-й час сушіння, %.

Для аналізу отриманих результатів щодо впливу температури сушильного агента та ефекту перемішування сировини в сушильній камері на інтенсифікацію процесу сушіння будували відповідні графіки залежностей вологовмісту W_i матеріалу від часу t_i сушіння (криву сушіння) $W_i = f(t_i)$. Ефективність кожного періода сушіння, визначається зменшенням вологовмісту матеріалу dW_i за нескінченно малий інтервал часу dt_i, %/хв, (на i-й час сушіння). Способом графічного диференціювання кривої сушіння будували графіки залежності швидкості сушіння від вологовмісту матеріалу в першому і другому періоді $U_1 = dW_i/dt_i = f(W_i)$ для різних режимів роботи сушарки.

Висновки. Експеримент показав, що контрольоване регулювання режимних параметрів сушарки суттєво призводить до збільшення швидкості процесу та зменшення тривалості досягнення рівноважного вологовмісту висушеного матеріалу.

Спостереження показали, що міра кривизни графіків залежить від структури відповідного матеріалу, від наявності та співвідношення мас вологи різних форм зв’язку в матеріалі. Інтенсивність перемішування та температурний ефект сприяють рівномірній дисипації енергії в робочому об’ємі, що в свою чергу призводить до оновлення поверхні контакту фаз, тобто до інтенсифікації процесу.

Дослідження абсорбційних характеристик апарата з турбінним перемішувальним пристроєм

Даніла Сапа, Андрій Хорошун, Володимир Зав'ялов, Тарас Мисюра
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Процеси культивування мікроорганізмів у біотехнології критично залежать від інтенсивності масопередачі кисню з газової фази в рідку. Масштабування таких процесів потребує глибокого розуміння гідродинамічних особливостей аерації. Основними проблемами при цьому залишаються складність традиційних методик вимірювання концентрації розчиненого кисню та громіздкість розрахунків об'ємного коефіцієнта масопередачі. Тому розробка та вдосконалення оперативних методів оцінки абсорбційних властивостей обладнання є актуальним науково-практичним завданням.

Методологія досліджень. Експериментальні дослідження проводилися на лабораторній установці, ключовим елементом якої є турбінна мішалка відкритого виконання. Геометричні параметри: діаметр корпусу апарата становить 200 мм, діаметр турбіни – 100 мм при глибині занурення 210 мм.

Гідродинамічні режими: частота обертання змінювалася у фіксованому діапазоні від 1 до 1200 об/хв, що дозволяло досліджувати режими від ламінарного до розвиненого турбулентного. Вимірювальний комплекс: використання полярографічного мембранного датчика (з фторопластовою мембраною) у поєднанні з приладом КЛ-115 та потенціометром КСП-4М дозволило безперервно фіксувати динаміку насичення середовища. Хімічна підготовка: для повного видалення кисню перед початком кожного досліду в модельну рідину додавали розчин Na_2SO_3.

Результати та обговорення. Ефективність абсорбції в апараті з механічним перемішуванням визначається інтенсивністю оновлення поверхні контакту фаз. В ході роботи було застосовано динамічний метод, що базується на аналізі кривих насичення.

Компенсація інерційності: оскільки датчик має власну інерційність через наявність мембрани, була визначена розбіжна характеристика при миттєвій зміні концентрації, що дозволило скоригувати експериментальні дані та підвищити точність розрахунків.

Математична модель: процес насичення описувався S-подібною кривою, лінеаризація якої здійснювалася за рівнянням:

$$\ln\left(\left(C_p - C_1\right)/\left(C_p - C_2\right)\right) = K_v(t_2 - t_1)$$

де C_1 та C_2 – концентрації кисню в моменти часу t_1 та t_2.

Час релаксації: за тангенсом кута нахилу прямої у напівлогарифмічних координатах $\ln(C_p - C) = f(t)$ визначали час релаксації t_p – період, протягом якого рушійна сила процесу зменшується в е разів.

Коефіцієнт масопередачі: встановлено, що об'ємний коефіцієнт масопередачі K_v є оберненою величиною до часу релаксації ($K_v = 1/t_p$). Його значення зростає пропорційно інтенсивності перемішування, що пояснюється подрібненням повітряних бульбашок та збільшенням швидкості відносного руху фаз.

Висновки. Дослідження підтвердили, що механічне перемішування в режимі самоаерації забезпечує високу швидкість оновлення міжфазової поверхні. Запропонована методика визначення K_v через час релаксації процесу, реалізована в системі MathCAD, дозволяє оперативно оцінювати масообмінні характеристики апаратів різної конструкції та може бути використана для оптимізації промислових ферментаторів.

Використання віртуальної лабораторної роботи для дослідження процесу подрібнення в молотковій дробарці

Сергій Лузя, Роман Бутенко, Тарас Мисюра, Володимир Зав'ялов
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасний розвиток інженерної освіти передбачає активне впровадження цифрових технологій, зокрема віртуальних лабораторних робіт. Вони дозволяють моделювати реальні технологічні процеси без використання фізичного обладнання, що є особливо актуальним в умовах обмеженого доступу до матеріально-технічної бази. Одним із важливих процесів у багатьох галузях промисловості є подрібнення матеріалів, ефективність якого значною мірою залежить від параметрів обладнання. У зв'язку з цим актуальним є дослідження процесу подрібнення з використанням віртуальних лабораторних засобів.

Матеріали та методи. Дослідження проводилось із використанням віртуальної лабораторної установки, що імітує роботу молоткової дробарки, ситового просіювача та вимірювального обладнання. Як досліджуваний матеріал використовувався горох масою 100 г.

Експеримент передбачав подрібнення матеріалу із застосуванням змінних решіток з діаметрами отворів 1 мм, 2 мм та 3 мм. Після подрібнення продукт піддавався ситовому аналізу за допомогою набору сит із різними розмірами отворів. Маса отриманих фракцій визначалась із використанням віртуальних ваг.

Методика включала послідовне виконання етапів: завантаження матеріалу, вибір решітки, запуск дробарки, проведення просіювання та фіксацію результатів вимірювань.

Результати та обговорення. У ході дослідження встановлено, що віртуальна лабораторна установка дозволяє адекватно відтворити процес подрібнення матеріалу та отримати кількісні характеристики розподілу фракцій.

Аналіз результатів показав, що при використанні решітки з меншим діаметром отворів (1 мм) формується більш дрібнодисперсний продукт. Водночас зі збільшенням діаметра отворів решітки до 3 мм зростає частка крупних фракцій, що свідчить про зниження ступеня подрібнення.

Отримані залежності узгоджуються з теоретичними уявленнями про механізм роботи молоткових дробарок. Використання віртуальної лабораторії дозволило оперативно змінювати параметри процесу та аналізувати їх вплив без додаткових витрат часу та ресурсів.

Крім того, віртуальне середовище забезпечує високу наочність процесу та можливість багаторазового повторення експериментів, що є важливим для навчального процесу.

Висновки.

1. Віртуальна лабораторна робота є ефективним інструментом для дослідження процесу подрібнення матеріалів.
2. Встановлено, що зменшення діаметра отворів решітки призводить до підвищення ступеня подрібнення.
3. Використання віртуального середовища дозволяє зменшити витрати ресурсів та підвищити безпечність експериментів.
4. Віртуальні лабораторії доцільно застосовувати як альтернативу або доповнення до традиційних експериментальних досліджень.

Класифікація теплообмінних апаратів харчових виробництв

Роман Гаєвський, Богдан Грищенко, Тарас Мисюра, Володимир Зав'ялов
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Різноманітність технологічних завдань у харчовій промисловості зумовила створення широкого спектру конструкцій теплообмінного обладнання. Систематизація теплообмінних апаратів за функціональними та конструктивними ознаками є актуальним науково-практичним завданням для оптимального вибору обладнання.

Методологія досліджень. Проведено системний аналіз теплообмінного обладнання підприємств молокопереробної, пивоварної та кондитерської галузей. Класифікаційні ознаки: принцип дії, конструктивне виконання, схема руху теплоносіїв. Критерії оцінювання: коефіцієнт теплопередачі K (Вт/(м²·К)), питома металоємність (кг/м²), можливість санітарної обробки.

Результати та обговорення.

За принципом дії виділено:

- рекуперативні апарати (теплообмін через стінку, K = 800–5000 Вт/(м²·К));
- регенеративні апарати (через акумулюючу насадку, ступінь регенерації до 90%);
- апарати змішування (прямий контакт теплоносіїв).

За конструктивним виконанням рекуперативні апарати поділяються на:

- трубчасті (кожухотрубні – до 1500 м², робочий тиск до 2,5 МПа);
- пластинчасті (K до 6000 Вт/(м²·К), питома поверхня 150–250 м²/м³);
- спіральні (ефективні для в'язких середовищ);
- оребрені (коефіцієнт оребрення 10–25 для теплообміну газ–рідина).

За схемою руху теплоносіїв:

- прямотечійні (найпростіші),
- протитечійні (максимальна термодинамічна ефективність),
- перехреснотечійні (компроміс між компактністю і ефективністю), багатоходові (для багатокорпусних установок).

За способом інтенсифікації:

- апарати з турбулізаторами (підвищення K на 30–80%),
- з профільованими поверхнями (гофровані пластини),
- з механічним перемішуванням (скребкові апарати для високов'язких продуктів).

Порівняльний аналіз показав:

- для рідинних середовищ оптимальні пластинчасті теплообмінники (K = 3000–6000 Вт/(м²·К));
- для високов'язких продуктів – скребкові апарати;
- при високому тиску (>1,6 МПа) – кожухотрубні;
- для газових теплоносіїв необхідне оребрення.

Висновки.

Розроблено комплексну класифікацію теплообмінних апаратів харчових виробництв за чотирма основними ознаками. Встановлено, що пластинчасті теплообмінники є найбільш універсальними для рідинних харчових продуктів, забезпечуючи високу ефективність, компактність та можливість санітарної обробки. Запропонована класифікація може бути використана при проєктуванні технологічних ліній.

Теоретичний аналіз методів інтенсифікації теплообміну у трубчастих апаратах харчових виробництв

Роман Гаєвський, Богдан Грищенко, Тарас Мисюра, Володимир Зав'ялов
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Теплообмінні апарати є невід'ємною складовою технологічних ліній харчових виробництв: вони застосовуються при пастеризації молока, стерилізації консервів, випарюванні соків, нагріванні та охолодженні в'язких харчових мас. За питомою вагою в загальному балансі витрат підприємства теплообмінне обладнання займає одну з ключових позицій як за капітальними, так і за експлуатаційними витратами. Підвищення інтенсивності теплообміну дозволяє зменшити поверхню теплообміну, знизити матеріаломісткість апаратів та скоротити витрати теплоносіїв. Саме тому теоретичне узагальнення та систематизація методів інтенсифікації залишається актуальним науково-прикладним завданням.

Результати та обговорення. Інтенсивність теплообміну в трубчастих апаратах визначається коефіцієнтом тепловіддачі α, який описується рівнянням подібності

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n,$$

де числа Нусельта, Рейнольдса та Прандтля характеризують відповідно інтенсивність конвективного теплообміну, гідродинамічний режим течії та фізичні властивості теплоносія. У ламінарному режимі ($Re < 2300$) конвективна складова теплообміну є мінімальною, тоді як перехід до турбулентного режиму ($Re > 10000$) суттєво збільшує α за рахунок поперечного перемішування пристінного шару рідини.

Серед пасивних методів інтенсифікації теплообміну, що не потребують додаткових енергетичних витрат, найбільшого поширення набули: турбулізуючі вставки (спіральні, стрічкові, дротяні), профільовані поверхні (оребрення, накатка, гофрування) та скручені труби. Принцип дії вставок полягає у руйнуванні ламінарного підшару та генерації вторинних вихрових течій, що прискорюють оновлення теплообмінної поверхні. Теоретичний аналіз показує, що спіральні вставки з відносним кроком навивки $s/d = 2–4$ забезпечують зростання числа Нусельта у 1,5–2,5 рази при помірному зростанні гідравлічного опору.

Активні методи інтенсифікації – вібраційна дія на теплоносій, електрогідродинамічний вплив, ультразвукова обробка – забезпечують ще більший ефект, проте потребують додаткового обладнання та ускладнюють конструкцію апарата. З позиції техніко-економічної доцільності для харчових виробництв оптимальним є застосування комбінованих підходів: поєднання турбулізуючих вставок із оребренням внутрішньої поверхні труб. Ефективність таких рішень оцінюють за критерієм питомої інтенсивності теплообміну — відношенням приросту Nu до приросту коефіцієнта гідравлічного тертя λ.

Висновки. Теоретичний аналіз засвідчує, що застосування турбулізуючих вставок у трубчастих теплообмінниках є найбільш обґрунтованим методом інтенсифікації теплообміну для умов харчових виробництв. Систематизація критеріальних рівнянь для різних типів вставок створює основу для інженерного розрахунку та порівняльного вибору оптимальної конструкції апарата. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку уніфікованих розрахункових методик для апаратів, що працюють з в'язкими харчовими середовищами.

Визначення коефіцієнтів тепловіддачі при різних способах теплообміну

Сергій Лузя, Роман Бутенко, Тарас Мисюра, Володимир Зав'ялов
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Коефіцієнт тепловіддачі α є ключовим параметром при проєктуванні теплообмінного обладнання харчових виробництв. Різні механізми теплообміну – вільна конвекція, вимушена конвекція та кипіння – описуються різними математичними моделями, що ускладнює вибір розрахункових методик. Існуючі емпіричні залежності часто мають обмежену область застосування та значну похибку при екстраполяції. Тому систематизоване порівняння розрахункових формул для визначення α при різних способах теплообміну є актуальним науково-практичним завданням.

Результати та обговорення. Проведено систематичне порівняння формул для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі при різних механізмах теплообміну.

Вільна конвекція. Розрахунок базується на критеріальному рівнянні:

$$Nu = C\cdot(Gr\cdot Pr)^n = C\cdot Ra^n$$

де C = 0,54 та n = 0,25 для ламінарного режиму ($10^4 < Ra < 10^7$), C = 0,135 та n = 0,33 для турбулентного ($Ra > 10^7$).

Тоді:

$$\alpha = (Nu\cdot\lambda)/L$$

Вимушена конвекція. Для турбулентного режиму течії ($Re > 10^4$) застосовується рівняння Діттуса-Бельтера:

$$Nu = 0{,}023\cdot Re^{0.8}\cdot Pr^n$$

де n = 0,4 при нагріванні та n = 0,3 при охолодженні.

Тоді:

$$\alpha = (0{,}023\cdot\lambda/d)\cdot Re^{0.8}\cdot Pr^n$$

Кипіння у великому об'ємі. Використовується формула Кутателадзе-Кружиліна:

$$\alpha = 0{,}0625\cdot q^{0.7}\cdot p^{0.15}\cdot(\rho''/\rho')^{0.2}$$

або альтернативна формула Лабунцова:

$$\alpha = C\cdot(q^3\cdot\rho'\cdot\rho''\cdot r)^{0.25}/(\eta\cdot\Delta T)$$

Порівняльний аналіз показав:

1. При вільній конвекції $\alpha \sim \Delta T^{0.25}$ (слабка залежність від температурного напору)
2. При вимушеній конвекції $\alpha \sim w^{0.8}$ (сильна залежність від швидкості)
3. При кипінні $\alpha \sim q^{0.7}$ (залежність від теплового потоку, а не від ΔT)

Встановлено, що при ΔT = 20°C та характерному розмірі L = 0,3 м:

- Вільна конвекція: α ≈ 5–8 Вт/(м²·К)
- Вимушена конвекція (w = 2 м/с): α ≈ 25–40 Вт/(м²·К)
- Кипіння (q = 20000 Вт/м²): α ≈ 5000–8000 Вт/(м²·К)

Відносна похибка розрахунків за наведеними формулами не перевищувала 15% порівняно з експериментальними даними.

Висновки. Систематизовано розрахункові формули для визначення коефіцієнта тепловіддачі при трьох основних способах теплообміну. Встановлено, що різні механізми переносу тепла вимагають принципово відмінних математичних моделей: для конвекції – критеріальних залежностей від геометричних та гідродинамічних параметрів, для кипіння – залежностей від теплового потоку та властивостей рідини. Експериментальна верифікація підтвердила прийнятну точність класичних формул у широкому діапазоні режимних параметрів, що дозволяє рекомендувати їх для інженерних розрахунків теплообмінного обладнання харчових виробництв.

Дослідження процесу теплообміну в кожухотрубному теплообміннику за допомогою SolidWorks Flow Simulation

Олександр Ротаєнко, Павло Слюсар, Тарас Мисюра, Володимир Зав'ялов
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Кожухотрубні теплообмінники КТТ є одними з найпоширеніших апаратів у хімічній, енергетичній та харчовій промисловості. Їх ефективна робота впливає на енергоспоживання технологічних процесів і собівартість продукції. Традиційні методи розрахунку КТТ, засновані на аналітичних підходах, не дозволяють повною мірою врахувати тривимірний характер течії і розподіл температурних полів у складній геометрії апарату. Тому застосування методів обчислювальної гідродинаміки стає особливо актуальним для точного прогнозування гідравлічних і теплових характеристик теплообмінного обладнання на стадії проєктування.

Методологія досліджень. Об'єктом дослідження є одноходовий кожухотрубний теплообмінник з пучком паралельних труб. Гаряча рідина (технічна вода, T = 80 °C) подається у трубний простір зі штуцера на торцевій кришці та виходить з протилежного боку. Холодна вода (T = 15 °C) циркулює у міжтрубному просторі через два бокові штуцери. Числова модель реалізована у SolidWorks Flow Simulation з використанням рівнянь Рейнольдса для турбулентної течії та моделі турбулентності k-ε. Сітка побудована у вигляді адаптивної декартової решітки з локальним згущенням поблизу поверхонь теплообміну.

Результати та обговорення. Аналіз отриманих результатів показав, що розподіл температур у трубному просторі має виражений градієнт уздовж осі апарата: від 80 °C на вході до 34–41 °C на виході. Зовнішня поверхня труб контактує з холодним потоком, температура якого поступово зростає від 15 °C біля штуцера холодного агента до 34 °C у зоні найінтенсивнішого теплообміну. Візуалізація траєкторій (Flow Trajectories) за кольоровою картою температур чітко ілюструє протитечійний характер взаємодії гарячого і холодного потоків, що є ознакою ефективного теплообміну. Поле швидкостей демонструє нерівномірний розподіл швидкості в міжтрубному просторі: максимальні значення (до 0,256 м/с) спостерігаються поблизу вхідного штуцера, тоді як у застійних зонах між трубами швидкість наближається до нуля. Виявлені рециркуляційні зони у торцевих камерах свідчать про наявність локальних гідравлічних опорів, що зменшують загальну ефективність теплообмінного апарата.

Порівняння картини в перерізі з траєкторіями потоку підтвердило, що теплова ефективність апарату залежить від організації потоку у міжтрубному просторі. Труби верхнього ряду перебувають у зоні гарячого потоку, тоді як нижні ряди омиваються переважно холодним агентом, що свідчить про нерівномірне теплове навантаження на трубний пучок. Такий розподіл може призводити до термічних напружень і нерівномірного зносу. Отримані дані є основою для подальшої оптимізації конструкції апарата – зокрема, встановлення поперечних перегородок (баффлів) у міжтрубному просторі для інтенсифікації теплообміну та усунення застійних зон.

Висновки. Отримані тривимірні картини розподілу температур і швидкостей дозволяють виявити локальні недоліки конструкції, які неможливо визначити аналітичними методами. Встановлено, що нерівномірність поля швидкостей у міжтрубному просторі зумовлює нерівномірне теплове навантаження на трубний пучок. Застосування SolidWorks Flow Simulation є ефективним інструментом для інженерного аналізу та оптимізації теплообмінного обладнання ще на етапі проєктування, що дозволяє скоротити матеріальні та часові витрати на виготовлення та натурні випробування.

Дослідження кінетики та гідродинамічних параметрів екстрагування зернової сировини у віброекстракторі безперервної дії

Денис Лузько, Юлія Запорожець
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Інтенсифікація масообмінних процесів у системі «тверде тіло – рідина» залишається одним із провідних напрямків у сфері харчових технологій. Традиційні методи екстрагування рослинної сировини характеризуються суттєвими обмеженнями, пов'язаними з низькою швидкістю внутрішньої дифузії. Застосування комбінованого енергопідведення, що включає низькочастотні вібрації та високочастотні коливання, дає змогу значно підвищити ефективність вилучення цільових компонентів. Основна мета цієї роботи полягає у вивченні масообмінних характеристик процесу екстрагування зернової сировини в апараті безперервної дії, оснащеному віброперемішуванням.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження була подрібнена рослинна сировина зернового походження, зокрема пшеничний і ячмінний солод. Для визначення дисперсного складу застосовувався ситовий аналіз, проведений на вібраційному аналізаторі з використанням стандартного набору сит СЛП 200 ОЦ. Середньозважений розмір частинок обчислювався за формулою, що враховує масову частку кожної фракції. Експериментальні дослідження виконувалися на модернізованій установці безперервної дії, яка складалася з корпусу, віброприводу зі штоком і перфорованими дисками, а також високочастотного випромінювача. Випробування проводилися при температурах 45 і 65 °C із використанням гідромодуля 1:10.

Результати. У ході дослідження було встановлено, що вібраційна дія сприяє інтенсивному масоперенесенню всередині твердої фази та одночасному відведенню екстрагованих речовин у рідку фазу. Для обчислення коефіцієнта молекулярної дифузії сировина моделювалася у формі сфери із еквівалентним радіусом 1 мм. Аналіз кінетики вилучення розчинних речовин здійснювався із застосуванням інтервально-ітераційного методу розрахунків екстракційних кривих. Суть цього підходу полягала у поділі процесу екстрагування на окремі інтервали, що дозволяло розглядати криву як послідовність відрізків прямої.

На початковому етапі встановлено, що екстрактивні речовини, які формують поверхневий шар, розчиняються майже миттєво. Проте під час змочування відбувається перерозподіл цих речовин між різними зонами частинки. Здійснений розрахунок дифузійного критерію Фур'є та критерію Біо дозволив визначити локальні значення коефіцієнта молекулярної дифузії. Було встановлено, що це значення значною мірою залежить від температури екстрагенту та тривалості процесу. Підтримка стабільного температурного режиму за допомогою ТЕНів та нагрівальної оболонки дозволила досягти усталеної зовнішньої дифузі.

Висновки. На основі проведеного аналізу сформульовано рекомендації щодо ефективного управління безперервними дифузійними установками. Для мінімізації втрат ключовим є точна синхронізація швидкості завантаження сировини та відбору соку. Застосування протечійних шнекових апаратів сприяє отриманню високоякісного екстракту, забезпечуючи його високу чистоту і даючи змогу автоматизувати процес на основі показників густини вихідного розчину. Отримані результати моделювання можуть бути використані для вдосконалення технологічних процесів дифузійних відділень на підприємствах цукрової та сокової промисловості.

Дослідження енергоємності та кінетики процесу тонкого подрібнення зернової сировини в молоткових дробарках

Софія Галайчук, Юлія Запорожець
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Подрібнення виступає ключовою операцією в технологічному процесі переробки зерна, від якої залежить ефективність наступних етапів, таких як екстрагування, гідроліз і термічна обробка. Зменшення розміру частинок приводить до збільшення питомої поверхні взаємодії фаз, що сприяє прискоренню дифузійних процесів, згідно з принципами закону Фіка. Водночас подрібнення залишається одним із найенергоємніших процесів, оскільки лише 1–3% використовуваної енергії йде на створення нових поверхонь, а решта перетворюється на тепло або витрачається на подолання сил тертя. Тому визначення оптимальних режимів роботи дробарок, які забезпечували б бажаний гранулометричний склад при мінімальних витратах електроенергії, є важливим завданням для підвищення загальної ефективності виробничих процесів.

Матеріали і методи. Предметом цього дослідження було зерно кукурудзи та ячменю з рівнем вологості 14±0,5%. Експеримент проводився на молотковій дробарці моделі ЛМ-3, яка дозволяє регулювати частоту обертання ротора в діапазоні від 1500 до 3500 обертів на хвилину. Отриману дерть класифікували за допомогою набору лабораторних сит СЛП 200 ОЦ із діаметром отворів від 0,5 до 3,0 мм. Дисперсний склад матеріалу вивчали шляхом побудови інтегральних кривих розподілу. Температуру продукту після процесу подрібнення контролювали завдяки інфрачервоному пірометру.

Результати. Дослідження показали, що зі збільшенням окружної швидкості молотків від 45 до 85 м/с середній діаметр часток зменшується за експоненціальним законом. Однак крива питомих енерговитрат демонструє різкий стрибок після досягнення швидкості 70 м/с. Це явище пояснюється тим, що за високих швидкостей частки зерна не встигають проходити через отвори сита, через що піддаються повторному подрібненню (так званому перетиранню). Унаслідок цього відбувається руйнування крохмальних зерен і перегрів матеріалу до температури 65°C.

Встановлено, що застосування сит із довгастими отворами замість круглих сприяє збільшенню продуктивності дробарки на 15% без зміни модуля помелу. Розрахований критерій енергоефективності продемонстрував, що для отримання фракцій розміром 0,8–1,2 мм, придатних для подальшої екстракції, оптимальною є окружна швидкість 60 м/с. За таких умов кількість пилоподібних часток (менше 0,2 мм) не перевищує 5%, що дозволяє мінімізувати втрати сировини та покращити гідродинамічні процеси в наступних стадіях обробки. Додатково виведено емпіричне рівняння, яке дає змогу прогнозувати енергозатрати залежно від вологості зерна: при підвищенні вологості на кожні 2% енергоємність процесу подрібнення зростає на 10–12% через підвищення пластичності оболонок зерна.

Висновки. Результати проведених досліджень відкривають можливість підвищити ефективність роботи подрібнювального обладнання завдяки оптимальному вибору швидкості робочих елементів та вдосконаленню геометрії сит. Такий підхід сприяє скороченню питомих енерговитрат на 18% та дозволяє отримувати продукт з однорідним гранулометричним складом, що відіграє ключову роль у забезпеченні стабільності наступних технологічних етапів.

Дослідження ефективності електроіскрового оброблення харчової сировини для інтенсифікації вилучення цільових компонентів

Єлизавета Харь, Юлія Запорожець
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Одним із найперспективніших напрямів підвищення ефективності масообмінних процесів у харчових технологіях є застосування електрофізичних методів впливу на рослинну сировину. Одним із таких методів виступає електроіскрове оброблення (ЕІО), яке ґрунтується на виникненні високовольтного електричного розряду в рідкому середовищі. Цей процес супроводжується низкою феноменів, зокрема утворенням ударних хвиль, явищем кавітації, інтенсивним ультразвуковим випромінюванням і впливом електромагнітних полів. Подібна взаємодія спричиняє електроплазмоліз – порушення цілісності біологічних мембран клітин, що суттєво зменшує внутрішній дифузійний опір сировини.

Матеріали і методи. У дослідженні була використана рослинна сировина з високим вмістом пектинових речовин та антоціанів, отримана з вижимок ягід і коренеплодів. Оброблення електроіскровим методом проводилось на експериментальній установці. Напруга розряду варіювалась у діапазоні 15–35 кВ, а енергія кожного імпульсу становила 40–120 Дж. Кількість застосованих імпульсів змінювалась від 10 до 100. Подальший етап екстрагування проводився у віброекстракторі безперервної дії при стабільній температурі 50°C. Розрахунки коефіцієнтів дифузії виконувалися за допомогою інтервально-ітераційного методу на основі даних про зміну концентрації розчинних речовин у часі.

Результати. Аналіз результатів показав, що електроіскровий розряд здатний генерувати надвисокі імпульсні тиски всередині об’єму сировини (до кількох сотень МПа), які забезпечують механічне руйнування клітинних оболонок без суттєвого термічного впливу на продукт. Дослідження виявило, що за напруги 25 кВ і кількості імпульсів n=50 коефіцієнт плазмолізу досягає значення 0,85–0,92, що вказує на практично повне руйнування протопласту клітин.

Дослідження кінетики екстракції обробленої сировини засвідчило, що швидкість вилучення компонентів зростає у 2,5–3 рази порівняно з необробленою сировиною. Розраховані параметри дифузійного критерію Фур’є підтвердили зміну лімітуючої стадії процесу: вона переміщується з внутрішньодифузійної зони до області зовнішньодифузійного переносу, яку можна ефективно інтенсифікувати за допомогою вібраційного перемішування. Встановлено також цікавий феномен: електроіскрове оброблення не лише сприяє механічному руйнуванню, а й викликає дезінтеграцію складних високомолекулярних комплексів, підвищуючи чистоту екстракту та зменшуючи вміст небажаних колоїдних домішок. Додатково електроіскровий вплив забезпечує бактерицидний ефект, що сприяє подовженню терміну зберігання напівфабрикатів.

Висновки. Електроіскрове оброблення зарекомендувало себе як високоефективний спосіб підготовки харчової сировини, який відкриває нові можливості для екстрагування. У поєднанні з безперервним віброекстрагуванням цей метод дозволяє досягти максимального виходу біологічно активних речовин і скоротити тривалість процесу на 50–60%. Отримані результати слугують науковою основою для розробки комбінованих електрофізичних технологічних ліній переробки сировини рослинного походження, включаючи зернові культури та плодово-ягідну продукцію.

Апроксимація теплофізичних властивостей води на лінії насичення

Злата Гарницька, Діана Сміян, Тарас Мисюра, Наталія Попова
Національний університет харчових технологій

Вступ. Вода є найпоширенішим теплоносієм у хімічній, харчовій та енергетичній промисловості. При інженерних розрахунках теплообмінного обладнання, випарних апаратів і ректифікаційних колон необхідно знати теплофізичні властивості води у широкому діапазоні температур. Традиційно ці дані наводяться у довідкових таблицях, що ускладнює їх використання в аналітичних розрахунках. Тому актуальним є отримання компактних аналітичних виразів, які відтворюють табличні дані з достатньою точністю. Мета роботи – отримати прості апроксимаційні формули для п'яти теплофізичних властивостей води на лінії насичення у діапазоні 0–140 °C з похибкою не більше 4 %, придатні для використання студентами у курсі «Процеси та апарати хімічних виробництв», а також при виконанні курсових і дипломних проєктів.

Матеріали та методи. Вихідними даними слугували довідникові значення для температур 0–140 °C з кроком 1 °C. Апроксимацію виконано методом найменших квадратів (МНК) у MathCAD та Python (NumPy, SciPy). Для густини ρ, теплоємності c та теплопровідності λ застосовано поліноми 3-го ступеня: $Y(t) = a_3 \cdot t^3 + a_2 \cdot t^2 + a_1 \cdot t + a_0$. Для динамічної в'язкості μ і числа Прандтля Pr застосовано формулу Вогеля: $Y(t) = \exp(A + B / (t + C))$, де A, B, C – константи, визначені за МНК; t – температура, °C.

Результати та обговорення.

Таблиця. Апроксимаційні формули теплофізичних властивостей води (0–140 °C)

Властивість	Формула	Одиниці	MAE
Густина ρ	$\rho = 7{,}236 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 - 4{,}572 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 0{,}0374 \cdot t + 1000{,}55$	кг/м³	0,028%
Теплоємність c	$c = -7{,}35 \cdot 10^{-5} \cdot t^3 + 2{,}635 \cdot 10^{-2} \cdot t^2 - 1{,}781 \cdot t + 4207{,}04$	Дж/(кг·К)	0,032%
Теплопровідність λ	$\lambda = 4{,}07 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 - 1{,}45 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 2{,}176 \cdot 10^{-3} \cdot t + 0{,}5641$	Вт/(м·К)	0,087%
В'язкість μ	$\mu = \exp(3{,}353 + 516{,}64 / (t + 125{,}03))$	мкПа·с	0,421%
Число Прандтля Pr	$Pr = \exp(-1{,}674 + 468{,}26 / (t + 109{,}26))$	—	0,160%

Для густини, теплоємності та теплопровідності досягнута висока точність: MAE не перевищує 0,09 %, що відповідає точності довідникових даних. Формула Вогеля для в'язкості забезпечує MAE = 0,42 % і максимальне відхилення 1,09 %, прийнятне для інженерних розрахунків. Дещо більша похибка числа Прандтля (max до 3,6 %) зумовлена наявністю аномальних значень у вихідній таблиці. Перевагою запропонованих формул є компактність: кожна містить лише 3–4 коефіцієнти і легко реалізується в Excel або будь-якій мові програмування.

Висновки. 1. Отримано аналітичні вирази для ρ, c, λ, μ і Pr води на лінії насичення у діапазоні 0–140 °C. 2. Для ρ, c, λ використано поліноми 3-го ступеня (MAE < 0,09 %); для μ і Pr – формулу Вогеля (MAE < 0,43 %). 3. Формули рекомендовано для навчального процесу в курсі «Процеси та апарати хімічних виробництв» та при виконанні курсових і кваліфікаційних проєктів.

Список літератури

1. Rumble J.R. (ed.) CRC Handbook of Chemistry and Physics. – 104th ed. – Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis, 2023. — 2700 p.

2. Mishima O., Sumita T. Equation of State of Liquid Water Written by Simple Experimental Polynomials and the Liquid-Liquid Critical Point // J. Phys. Chem. B. – 2023. – Vol. 127, No. 6. – P. 1414–1421. DOI: 10.1021/acs.jpcb.2c08342

Оптимізація рецептури кондиціонеру з ефектом холодного відновлення математико-статистичними методами аналізу

Надія Магден, Тарас Мисюра, Наталія Попова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасне волосся піддається інтенсивному впливу механічних, хімічних і термічних факторів, що призводить до порушення його структури. З огляду на білкову природу волосяного стрижня, актуальним є створення засобів для його відновлення без нагріву. Перспективним напрямом є кондиціонери з ефектом «cold recovery». Оптимізацію їх рецептури доцільно здійснювати із застосуванням симплекс-решітчастого методу планування експерименту.

Матеріали і методи. Дослідження проводили з використанням симплекс-решітчастого для трьох факторів: гідролізату протеїнів пшениці, гідролізату ламінарії та катіонного гуару. Варіювання компонентів здійснювали у кодованому вигляді. Обробку результатів виконували у програмі STATISTICA 10 з побудовою поліноміальних моделей.

Результати. У результаті проведеного моделювання отримано регресійні залежності, що описують вплив складу рецептури на функціональні властивості кондиціонера. Встановлено, що досліджувані компоненти мають синергічний ефект: гідролізат протеїнів пшениці забезпечує зміцнення волосся, гідролізат ламінарії – інтенсивне зволоження та формування захисної плівки, а катіонний гуар покращує кондиціонуючі властивості та розчісуваність.

Побудовані області факторного простору дозволили визначити раціональні співвідношення компонентів, за яких досягається максимальний відновлювальний ефект без обтяження волосся. Встановлено, що оптимальна рецептура знаходиться у зоні збалансованих концентрацій усіх трьох активів.

Співвідношення досліджуваних компонентів, що використовувалися при побудові математичної моделі, наведені у таблиці 1. Отримані результати підтверджують ефективність використання симплекс-решітчастого планування для підбору складу кондиціонера з ефектом холодного відновлення.

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту

№ експериментальної точки	Вміст компонентів у кодованому вигляді			Шифр відгуку
	Гідролізат протеїнів пшениці	Гідролізат протеїнів ламінарії	Катіонний гуар	
1	4	0	0	$У_1$
2	0	4	0	$У_2$
3	0	0	4	$У_3$
12	2	2	0	$У_{12}$
13	2	0	2	$У_{13}$
23	0	2	2	$У_{23}$
123	1.33	1.33	1.33	$У_{123}$

Висновок. Застосування симплекс-решітчастого методу дозволило обґрунтувати оптимальний склад кондиціонера з ефектом холодного відновлення. Отримана рецептура забезпечує покращення кондиціонуючих властивостей та відновлення структури волосся, що підтверджує доцільність використання математичного моделювання при розробці косметичних засобів.

Математичне моделювання нестаціонарних процесів теплообміну у пластинчастих апаратах харчової промисловості

Вадим Лисянський, Нікіта Пшеничний, Тарас Мисюра, Наталія Попова
Національний університет харчових технологій

Вступ. Пластинчасті теплообмінники набули широкого застосування у молочній, сокової та пивоварній промисловості завдяки компактності, високій інтенсивності теплообміну та зручності в обслуговуванні. Поряд із цим, нестаціонарні режими роботи – пуск, зупинка, зміна витрати продукту – є причиною відхилень температури від заданих значень, що критично для процесів пастеризації та стерилізації.

Розробка математичних моделей нестаціонарного теплообміну в пластинчастих апаратах є актуальним завданням, вирішення якого забезпечує підґрунтя для синтезу ефективних систем автоматичного керування.

Результати та обговорення. Математична модель нестаціонарного теплообміну у пластинчастому апараті будується на основі рівнянь теплового балансу для кожного каналу з урахуванням теплової акумуляції стінки пластини. У загальному вигляді система диференціальних рівнянь у частинних похідних описує розподіл температури продукту $T_1(x,t)$ та теплоносія $T_2(x,t)$ вздовж довжини апарата і в часі.

Для пластини скінченної товщини δ з теплопровідністю λ враховується теплова ємність матеріалу (нержавіюча сталь: $c = 500$ Дж/(кг·К), $\rho = 7900$ кг/м³), що суттєво впливає на динаміку перехідних процесів.

Аналіз рівнянь у безрозмірній формі дозволяє виділити визначальні критерії подібності: число Фур'є $Fo = a \cdot t/\delta^2$, що характеризує відносну тривалість теплової релаксації стінки, та число Біо $Bi = \alpha \cdot \delta/\lambda$, яке відображає співвідношення між конвективним і кондуктивним термічними опорами. При $Bi > 10$ тепловий опір стінки є нехтовно малим і модель спрощується до системи звичайних диференціальних рівнянь. Для типових пластинчастих апаратів харчової промисловості Bi знаходиться в діапазоні 50–200, що підтверджує правомірність спрощеної моделі.

Чисельне розв'язання системи рівнянь методом скінченних різниць з неявною схемою апроксимації забезпечує безумовну стійкість обчислювального процесу незалежно від кроку за часом. Верифікація моделі виконується шляхом порівняння розрахункових температурних профілів з аналітичним розв'язком задачі Грецца для усталеного протитечійного теплообміну.

Встановлено, що похибка моделі не перевищує 2–3% у широкому діапазоні зміни числа одиниць перенесення NTU = 1–8, що свідчить про достатню точність для інженерних розрахунків.

Висновки. Розроблена математична модель нестаціонарного теплообміну у пластинчастому апараті враховує теплову акумуляцію стінки пластини та забезпечує адекватний опис перехідних режимів роботи. Аналіз критеріїв Fo та Bi підтверджує можливість застосування спрощеної моделі для апаратів харчової промисловості. Отримані результати є теоретичною основою для розробки алгоритмів керування температурним режимом пастеризаційних установок в умовах змінного навантаження.

Теоретичні аспекти теплообміну при фазових переходах у випарних апаратах харчової промисловості:

Вадим Лисянський, Нікіта Пшеничний, Сергій Лузя, Тарас Мисюра
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Випарювання є одним із найбільш енергоємних процесів у харчовій промисловості та широко застосовується при виробництві згущеного молока, томатної пасти, фруктових концентратів та цукру. Теплообмін при кипінні рідини на гріючій поверхні принципово відрізняється від однофазної конвекції: інтенсивність процесу визначається не лише гідродинамікою, але й механізмом пароутворення, змочуваністю поверхні та фізичними властивостями харчового середовища. Теоретичне дослідження закономірностей теплообміну при фазових переходах є необхідною основою для вдосконалення конструкцій випарних апаратів і зниження їх питомих енерговитрат.

Результати та обговорення. Процес кипіння рідини на поверхні нагріву проходить кілька характерних режимів залежно від температурного напору $\Delta T = T_{ст} - T_{нас}$. При малих значеннях ΔT (до 5 К) реалізується вільноконвективний режим без утворення бульбашок. З підвищенням ΔT до 25–30 К настає режим розвиненого бульбашкового кипіння, при якому коефіцієнт тепловіддачі α досягає максимальних значень (10 000–30 000 Вт/(м²·К) для водних розчинів). Подальше збільшення температурного напору призводить до плівкового кипіння з різким падінням α через утворення суцільної парової плівки між рідиною та поверхнею.

Для харчових розчинів – соків, молока, сиропів – суттєвою особливістю є підвищення температури кипіння порівняно з чистим розчинником внаслідок депресії кипіння $\Delta t_{деп}$, яка зростає зі збільшенням концентрації розчиненої речовини. Це зменшує ефективний температурний напір у апараті та знижує інтенсивність теплообміну. Теоретичний аналіз показує, що для випарювання томатного соку при концентруванні від 5 до 30% сухих речовин депресія кипіння зростає від 0,3 до 1,8 К, що необхідно враховувати при розрахунку корисної різниці температур у багатокорпусних випарних установках.

Конденсація пари на холодних поверхнях– зворотний фазовий перехід – відіграє ключову роль у роботі конденсаторів та теплових насосів. Плівкова конденсація описується теорією Нуссельта, згідно з якою коефіцієнт тепловіддачі обернено пропорційний товщині конденсатної плівки і зростає зі збільшенням різниці температур між парою та стінкою. Краплинна конденсація забезпечує значно вищі значення α (у 5–10 разів), проте її стале підтримання на металевих поверхнях є технологічно складним завданням.

Висновки. Теоретичний аналіз теплообміну при фазових переходах свідчить про визначальну роль режиму кипіння, депресії кипіння та механізму конденсації у формуванні теплових характеристик випарних апаратів харчової промисловості. Врахування цих факторів при проектуванні забезпечує коректний розрахунок теплообмінної поверхні та дозволяє уникнути переходу до плівкового кипіння, що критично знижує ефективність процесу. Отримані теоретичні залежності є підґрунтям для оптимізації режимів роботи багатокорпусних випарних установок.

Теоретичні основи теплообміну у в'язких харчових середовищах: вплив реологічних властивостей на інтенсивність процесу

Роман Гаєвський, Богдан Грищенко, Роман Бутенко, Тарас Мисюра
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Значна частина харчових продуктів – томатна паста, джеми, шоколадні маси, сметана, тісто – належить до неньютонівських рідин, реологічні властивості яких суттєво відрізняються від властивостей звичайних рідин. При нагріванні або охолодженні таких середовищ у теплообмінних апаратах в'язкість змінюється не лише з температурою, але й із градієнтом швидкості зсуву, що принципово ускладнює розрахунок теплообміну. Застосування класичних рівнянь подібності, розроблених для ньютонівських рідин, призводить до значних похибок. Теоретичне дослідження впливу реологічних властивостей на теплообмін – актуальне завдання для харчової інженерії.

Результати та обговорення. За реологічною поведінкою харчові середовища класифікують на псевдопластичні (майонез, кетчуп, йогурт), дилатантні (концентровані суспензії крохмалю) та пластичні тіла Бінгама (маргарин, вершкове масло). Для псевдопластичних рідин залежність напруги зсуву τ від швидкості зсуву $\dot{\gamma}$ описується степеневим законом Оствальда–де Віля: $\tau = K\cdot\dot{\gamma}^n$, де K – коефіцієнт консистенції (Па·с^n), n – індекс течії ($n < 1$ для псевдопластиків). Чим менше значення n відхиляється від одиниці, тим сильніше виражена неньютонівська поведінка середовища та тим більшою є похибка при використанні стандартних розрахункових формул.

Для врахування неньютонівської поведінки при розрахунку теплообміну використовують узагальнене число Рейнольдса

$$Re_{ген} = \rho\cdot u^{2-n}\cdot d^n / (K\cdot 8^{n-1}),$$

яке замінює класичне Re у критеріальних рівняннях. Число Прандтля для неньютонівських рідин також модифікується з урахуванням ефективної в'язкості при характерному градієнті зсуву. Суттєвим є і ефект Грецца – розвиток теплового примежового шару вздовж каналу – який для в'язких середовищ проявляється на значно більшій відносній довжині апарата порівняно з водою, що необхідно враховувати при визначенні середнього коефіцієнта тепловіддачі.

Додатковим ускладнюючим чинником є температурна залежність в'язкості: для більшості харчових мас вона описується рівнянням Арреніуса

$$\mu = A\cdot\exp(Ea/RT),$$

де Ea – енергія активації течії.

Це призводить до нерівномірного розподілу в'язкості по перерізу каналу – у пристінній зоні, де температура вища, рідина є менш в'язкою і тече інтенсивніше. Даний ефект враховується поправочним множником $(\mu_{ср}/\mu_{ст})^{0,14}$ у формулі Сідера–Тейта, що коригує число Нусельта для умов нагрівання та охолодження в'язких середовищ.

Висновки. Теоретичний аналіз теплообміну у в'язких харчових середовищах виявляє необхідність застосування модифікованих критеріальних рівнянь з узагальненим числом Рейнольдса та поправками на температурну залежність в'язкості. Ігнорування неньютонівської поведінки при проектуванні теплообмінників призводить до заниження розрахункової поверхні теплообміну на 20–45%. Систематизація реологічних моделей харчових середовищ та відповідних розрахункових підходів є необхідною основою для коректного інженерного проектування теплообмінного обладнання харчових виробництв.

Енергозбереження у теплообмінному обладнанні харчових виробництв: теоретичні підходи та принципи рекуперації тепла

Вадим Лисянський, Нікіта Пшеничний, Тарас Мисюра, Наталія Попова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Харчова промисловість належить до енергоємних галузей: частка витрат на теплову енергію у собівартості продукції сягає 20–40% залежно від виду виробництва. Теплообмінне обладнання – пастеризатори, стерилізатори, випарні апарати, сушарки – є основним споживачем теплової енергії на підприємствах. В умовах зростання вартості енергоносіїв та посилення екологічних вимог питання раціонального використання теплових ресурсів і організації рекуперації тепла набувають стратегічного значення. Теоретичне обґрунтування принципів енергозбереження у теплообмінних системах є актуальним науково-практичним завданням.

Результати та обговорення. Основним інструментом аналізу теплових систем є пінч-метод (Pinch Analysis), розроблений у 1970-х роках і широко застосовуваний у харчовій промисловості для синтезу оптимальних теплообмінних мереж. Метод базується на побудові складених теплових кривих – сукупних залежностей ентальпії від температури для гарячих і холодних потоків підприємства. Точка мінімального зближення кривих (пінч-точка) визначає теоретично мінімальні потреби у зовнішньому нагріванні $Q_{min,гар}$ та охолодженні $Q_{min,хол}$, а також максимально можливу рекуперацію тепла між потоками.

Ефективність рекуперації тепла кількісно оцінюється коефіцієнтом рекуперації

$$\eta = Q_{рек} / Q_{заг},$$

де $Q_{рек}$ – кількість теплоти, передана від гарячих потоків до холодних усередині системи, $Q_{заг}$ – загальна теплова потреба виробництва.

Для молочних заводів теоретично досяжний рівень η становить 75–85%, для пивоварних підприємств – 60–70%. Збільшення мінімальної різниці температур у пінч-точці ΔT_{min} підвищує рушійну силу теплообміну і зменшує необхідну поверхню теплообмінників, проте знижує η – це фундаментальний компроміс між капітальними та експлуатаційними витратами.

Окремим напрямом є використання теплових насосів для підвищення потенціалу низькотемпературних вторинних енергетичних ресурсів – теплоти конденсату, продувних вод, вентиляційних викидів. Термодинамічна ефективність теплового насоса COP (Coefficient of Performance) характеризується коефіцієнтом перетворення:

$$COP = Q_{від} / W_{ел},$$

де $W_{ел}$ – споживана електрична потужність.

При використанні теплового насоса для рекуперації теплоти конденсату пастеризаційної установки теоретичне значення COP досягає 3,5–5,0, що робить технологію економічно доцільною навіть за помірної різниці в тарифах на електричну та теплову енергію.

Висновки. Теоретичний аналіз підходів до енергозбереження у теплообмінному обладнанні харчових виробництв свідчить про високий потенціал рекуперації тепла, реалізація якого можлива на основі пінч-методу та інтеграції теплових насосів. Ключовим параметром проектування є оптимальне значення ΔT_{min} у пінч-точці, що визначається техніко-економічним розрахунком. Впровадження зазначених підходів дозволяє знизити споживання первинної теплової енергії на 25–40%, що відповідає сучасним вимогам енергетичної політики харчової галузі.

Розроблення веб-застосунку для розрахунку теплофізичних властивостей води

Андрій Ярмоленко, Тарас Мисюра
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасній інженерній практиці розрахунки процесів теплообміну, гідравліки та термодинаміки потребують точних даних щодо теплофізичних властивостей робочих тіл. Вода є одним із найпоширеніших теплоносіїв, і її властивості суттєво змінюються залежно від температури. Традиційний підхід до отримання таких даних – табличний пошук – є незручним і схильним до похибок інтерполяції. У зв'язку з цим актуальним є розроблення спеціалізованого програмного інструменту, що забезпечує миттєвий та точний розрахунок цих властивостей.

Методологія досліджень. Метою роботи є розроблення клієнтського вебзастосунку для обчислення теплофізичних властивостей рідкої води в діапазоні температур 0–370 °C при атмосферному тиску.

Результати та обговорення. Розрахунок властивостей виконується на основі апроксимаційних формул міжнародного стандарту IAPWS-IF97 (International Association for the Properties of Water and Steam). Застосовані такі формули:

- ρ (густина) – п'ятичленний поліном Кела (1975), похибка < 0,003 % у діапазоні 0–100 °C;
- μ (динамічна в'язкість) – рівняння Фогеля, похибка < 0,5 %;
- λ (теплопровідність), cp (питома теплоємність) – поліноміальні апроксимації 2–4 ступенів;
- Ps (тиск насиченої пари) – рівняння Антуана;
- σ (поверхневий натяг) – кореляція IAPWS 2014;
- Pr, ν, a, β – розраховуються через первинні властивості.

Архітектура застосунку. Застосунок реалізовано як статичний вебдодаток без серверної частини (client-side only), що складається з трьох модулів:

1. water.js – модуль обчислень, що інкапсулює математичну модель та функції форматування результатів. Реалізований як IIFE-об'єкт з публічним API: compute, getProperties, toCelsius.
2. app.js – модуль інтерфейсу, що обробляє події користувача, виконує валідацію вводу, динамічно формує DOM-елементи карток результатів і керує анімаціями.
3. styles.css – адаптивна таблиця стилів. Реалізовано три breakpoint-и: 360, 540 та 768 пкс, що забезпечує коректне відображення на екранах від смартфона до широкоформатного монітора.

Інтерфейс підтримує введення температури в трьох шкалах (Цельсій, Кельвін, Фаренгейт). Виведення охоплює 11 параметрів: ρ, cp, λ, a, μ, ν, Pr, σ, β, Ps, h.

Верифікацію виконано шляхом порівняння з довідниковими даними для контрольних точок: 20, 60 та 100 °C. Відхилення не перевищує 0,8 %, що є прийнятним для інженерних розрахунків. Час відгуку застосунку – менше 5 мс.

Висновки. Розроблений застосунок дозволяє інженерам і дослідникам швидко отримувати теплофізичні властивості води без таблиць або спеціалізованого ПЗ. Відсутність серверної інфраструктури спрощує розгортання. Перспективи розвитку: розширення діапазону тисків, підтримка інших теплоносіїв, експорт результатів у CSV та PDF.

Дослідження та оптимізація процесу ультразвукової екстакції пектинових речовин з яблучних вичавок

Назар Бурбель, Вікторія Сапіга
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Пектинові речовини відіграють важливу роль у створенні функціональних харчових продуктів, завдяки їх здатності утворювати желе, стабілізувати структуру і сприяти детоксикації організму. Однак традиційний спосіб отримання пектину шляхом кислотної екстракції з яблучних вичавок має суттєві недоліки. Цей метод відзначається тривалим процесом, високими температурними режимами та значними енергозатратами, які часто спричиняють термічну деградацію макромолекул пектину й зменшують його ступінь етерифікації. У зв'язку з цим важливим пріоритетом у сфері харчового машинобудування стає розробка і впровадження сучасних технологій, які забезпечуватимуть прискорення обробки сировини, підвищення ефективності процесів і збереження високої якості пектину.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження виступали сушені яблучні вичавки з вологістю 12%. У якості екстрагента використовували розчин хлористоводневої кислоти з показником pH у діапазоні 1,8–2,2. Експерименти проводили із використанням спеціалізованої установки, обладнаної занурювальним ультразвуковим випромінювачем, оснащеним магнітострикційним перетворювачем. Частота коливань випромінювача становила 22±1,6 кГц, а інтенсивність ультразвукової обробки варіювалася в межах 5–15 Вт/см^2. Для порівняння було виготовлено контрольні зразки шляхом класичного теплового екстрагування при температурі 90°C. Вміст пектину визначали за кальцій-пектатним методом, молекулярну масу досліджували за допомогою віскозиметрії, а ступінь етерифікації аналізували методом титриметрії.

Результати. Аналіз отриманих даних демонструє, що використання ультразвукової обробки викликає ефект акустичної кавітації, який сприяє руйнуванню клітинної структури яблучної тканини та значно прискорює масообмінні процеси на межі поділу фаз «тверде тіло – рідина». У результаті дослідження встановлено, що при інтенсивності ультразвуку 10 Вт/см² і температурі 65°C вихід пектину досягає 14,8% від маси сухої речовини всього за 35 хвилин екстракції. Для порівняння, традиційний метод досягає аналогічного результату лише через 100–120 хвилин при температурі 90°C.

Дослідження впливу тривалості ультразвукової обробки показало, що перевищення часу понад 45 хвилин призводить до зменшення молекулярної маси пектину з 150 кДа до 90 кДа, що негативно позначається на його здатності до гелеутворення. Оптимальні параметри процесу були визначені наступним чином: температура в діапазоні 65–70°C, частота ультразвуку – 22 кГц, тривалість обробки – 40 хвилин, гідромодуль – 1:15. За цих умов ступінь етерифікації пектину залишається на рівні 72–75%, що дозволяє віднести його до категорії високоетерифікованих.

Висновки. Запровадження ультразвукових апаратів у процес виробництва пектину дозволяє значно скоротити тривалість технологічного циклу та мінімізувати температурний вплив на сировину. Це сприяє не лише підвищенню економічної ефективності підприємства, але й забезпечує отримання пектину з високою молекулярною масою та покращеними функціональними властивостями. Досягнуті результати можуть слугувати основою для розробки промислових екстракторів безперервної дії з інтегрованими ультразвуковими модулями.

Дослідження гідродинамічних та теплообмінних характеристик процесу пастеризації високов'язких молочних сумішей

Дарина Бондаренко, Вікторія Сапіга
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Теплова обробка молочних продуктів із високим вмістом сухих речовин, таких як вершки, суміші для морозива чи йогуртів, є складним інженерним викликом, що зумовлений їхніми нелінійними реологічними характеристиками. Використання традиційних пластинчастих теплообмінників у таких випадках часто супроводжується проблемами нерівномірного прогріву, підвищеним гідравлічним опором і посиленим утворенням накипу або пригару. Це спричиняє суттєве зниження коефіцієнта теплопередачі та вимагає частих зупинок обладнання для проведення санітарної очистки.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження була нормалізована суміш, призначена для виробництва вершкового морозива, яка характеризувалася такими параметрами: вміст жиру 10%, сухих речовин 35% та динамічна в’язкість у діапазоні 0,025–0,08 Па·с. Експериментальні випробування здійснювалися на лабораторній установці для пастеризації, обладнаній пластинами з рифленням під різними кутами нахилу (30°, 45° та 60°). Для вимірювання витрат застосовувався електромагнітний витратомір, тоді як контроль температури забезпечували термоперетворювачі опору з точністю ±0,1°C. Гідравлічний опір оцінювався за допомогою диференціальних манометрів. Критеріальні залежності розраховувалися на основі класичних рівнянь подібності, адаптованих до властивостей неньютонівських рідин.

Результати. Під час досліджень було встановлено, що динаміка руху високов'язких сумішей у каналах апарата значно відрізняється від поведінки води. За низьких швидкостей потоку спостерігається чітко виражений ламінарний режим, який сприяє утворенню пристінного шару з перегрівом продукту. Було виявлено, що застосування пластин із рифленням під кутом 60°, так званих жорстких пластин, дозволяє забезпечити перехід до турбулентного режиму за менших значень числа Рейнольдса порівняно з гладкими каналами. Такий ефект зумовлений постійною зміною напряму потоку та його інтенсивним перемішуванням у місцях контакту пластин.

У ході експерименту встановлено залежність числа Нуссельта (Nu) від числа Рейнольдса (Re) для досліджуваної суміші. Виявлено, що збільшення швидкості потоку з 0,2 до 0,6 м/с спричиняє підвищення коефіцієнта теплопередачі на 45%, але супроводжується зростанням гідравлічного опору апарата у 2,3 раза. Оптимальний діапазон чисел Рейнольдса для забезпечення енергоефективної роботи визначено в межах Re = 800–1200.

Особливий акцент зроблено на аналізі явища термічного самоочищення. З'ясовано, що забезпечення дотичного напруження зсуву на стінках перевищенням 50 Па знижує інтенсивність утворення білкових відкладень на 30%. Це сприяє збільшенню тривалості робочого циклу апарата між мийками з 4 до 6 годин.

Висновки. Результати дослідження свідчать, що для пастеризації високов'язких молочних сумішей найефективнішим рішенням є використання пластин із великим кутом нахилу гофрів, що сприяє штучній турбулізації потоку. Оптимізовані гідродинамічні параметри дозволяють створювати високоефективні теплообмінні апарати, які забезпечують мікробіологічну безпеку продукту, зберігаючи його біологічну цінність і знижуючи енергоспоживання на 15–18%.

Дослідження ефективності ультрафільтраційного розділення підсирної сироватки з метою одержання білкових концентратів

Карина Король, Вікторія Сапіга
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Підсирна сироватка є побічним продуктом виробництва сиру, що містить майже половину сухих речовин молока, включаючи найбільш цінні біологічно активні сироваткові білки, такі як альбуміни та глобуліни. Традиційні методи її обробки, як-от випарювання та сушіння, мають високу енергоємність і можуть спричиняти часткову денатурацію білків. Впровадження баромембранних технологій, зокрема ультрафільтрації (УФ), дає змогу ефективно розділяти компоненти сироватки на молекулярному рівні без теплового впливу чи фазових перетворень. Основною метою цього дослідження стало вивчення впливу робочого тиску та швидкості циркуляції надмембранного шару на селективність процесу розділення і продуктивність мембран при отриманні концентратів сироваткових білків (КСБ).

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є підсирна сироватка (pH 6,4, вміст сухих речовин 6,2%, білок – 0,8%). Експерименти виконувались із застосуванням лабораторної мембранної установки патронного типу, обладнаної керамічними мембранами на основі TiO_2/Al_2O_3 з порогом затримання молекул розміром 10 кДа. Робочий тиск під час процесу коливався в межах від 0,1 до 0,4 МПа. Температурний режим підтримувався на рівні 10–12°C, що дозволяло уникнути мікробіологічного псування продукту. Хімічний склад ретентату і пермеату оцінювали методами рефрактометрії та поляриметрії, а вміст білка визначали за методом К'єльдаля.

Результати. Під час процесу фільтрації було виявлено поступове зменшення питомого потоку пермеату (проникності мембрани) протягом часу. Основною причиною такого явища визначено утворення поляризаційного шару на поверхні мембрани та блокування її пор білковими макромолекулами. Зі збільшенням робочого тиску від 0,1 до 0,25 МПа спостерігалося лінійне зростання продуктивності. Однак подальше підвищення тиску до 0,4 МПа спричиняло ущільнення гелевого шару на мембрані, що призводило до стабілізації або навіть до незначного зменшення швидкості фільтрації.

Оптимальна швидкість потоку над мембраною встановлена у межах 3,5–4,0 м/с. Такий показник забезпечує достатню турбулентність, яка ефективно змиває частину осаджених білків назад у потік, що дозволяє підтримувати стабільну продуктивність апарата. Мембрана продемонструвала високу селективність щодо білків, досягаючи рівня 98,5%. Це зробило можливим отримання ретентату з концентрацією білка до 12,5% за фактора концентрування, рівного 15. Водночас втрати лактози та мінеральних солей у пермеаті були практично повними, що свідчить про можливість його подальшого використання для виділення молочного цукру або як основи для виготовлення ферментованих напоїв.

Висновки. Результати досліджень підтвердили високу ефективність використання керамічних ультрафільтраційних мембран для фракціонування сироватки. Оптимальні умови роботи (тиск 0,25 МПа, швидкість потоку 4 м/с) забезпечують максимальну продуктивність та високу якість отриманого концентрату. Інтеграція мембранних модулів у виробничі процеси молокопереробних підприємств відкриває можливості для створення безвідходного циклу та отримання цінних інгредієнтів, зокрема для спортивного та дитячого харчування.

Дослідження ефективності клапанної гомогенізації при виробництві відновленого молока та молочних сумішей

Анастасія Федорович, Вікторія Сапіга
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Гомогенізація є ключовим етапом у виробництві рідких молочних продуктів, що спрямована на запобігання відокремленню жирової фази та покращення їх органолептичних властивостей. Суть процесу полягає у подрібненні жирових кульок під впливом високого тиску, коли продукт проходить через вузький отвір гомогенізуючої головки. Особливо важливим цей етап є для відновленого молока, яке виготовляється із сухого молочного порошку та молочного жиру, адже саме тоді формується стабільна оболонка жирових часток, що забезпечує однорідність кінцевого продукту. Мета роботи полягає у визначенні взаємозв'язку між тиском гомогенізації та середнім діаметром жирових кульок, а також у аналізі впливу двоступеневої обробки на стабільність отриманої емульсії.

Матеріали і методи. Дослідження проводили на відновленому молоці із вмістом жиру 3,2%. Для експериментів використовувався високотемпературний плунжерний гомогенізатор із двоступеневою клапанною головкою. На першому етапі тиск варіювався в межах 10–25 МПа, тоді як на другому – підтримувався постійний рівень у 5 МПа. Ефективність процесу оцінювали, аналізуючи індекс відстоювання жирових часток і виконуючи мікроскопічний аналіз, що включав визначення середнього діаметра та розподілу частинок за розміром. Температура продукту стабільно утримувалась у діапазоні 60–65°C.

Результати. Дослідження показали, що збільшення тиску під час гомогенізації сприяє значному подрібненню жирових кульок. Зокрема, при значенні тиску в 10 МПа середній діаметр частинок становив 1,8 мкм, а при підвищенні тиску до 20 МПа він зменшився до 0,7–0,9 мкм. Виявлено, що подальше збільшення тиску понад 25 МПа не забезпечує істотного зменшення розміру частинок, водночас суттєво зростають енерговитрати та інтенсивність зносу клапанної пари.

Особливу увагу приділено феномену агрегації часток після першого етапу процесу. Дослідження показали, що застосування другого етапу з тиском 5 МПа дозволяє ефективно руйнувати білково-жирові кластери, забезпечуючи більш рівномірний розподіл часток у продукті. Використання двоступеневого режиму (20/5 МПа) забезпечує високий індекс гомогенізації на рівні 92%, що запобігає утворенню жирового кільця на поверхні продукту протягом семи днів зберігання. Аналіз показав, що енергія, витрачена на диспергування, становить лише 1–2% від загальної споживаної потужності, тоді як решта перетворюється на тепло, спричиняючи підвищення температури молока на виході на 2–3°C за кожні 10 МПа тиску.

Висновки. Щоб отримати високоякісне відновлене молоко, рекомендується застосовувати двоступеневу гомогенізацію з загальним тиском у межах 20–25 МПа. Такий підхід сприяє стабільності емульсії та покращенню засвоюваності продукту. Отримані результати дозволяють ефективніше налаштовувати роботу насосів високого тиску та визначати оптимальні режими обробки для різних типів молочної сировини.

Section 16

Physical and mathematical principles of technological processes

Секція 16

Фізико-математичні основи технологічних процесів

16.1.

Physics and occupational safety

16.1.

Фізика та професійна безпека

Application of NMR spectroscopy and artificial intelligence in honey quality and safety control procedures

Polina Volkova, Svitlana Litvynchuk, Alina Siryk
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The integration of modern digital technologies with established food quality control procedures is considered one of the key contemporary approaches to ensuring transparency and traceability in global supply chains. This issue is particularly relevant for the honey market, which is characterized by significant risks of adulteration.

Materials and methods. The study employs a comprehensive analytical approach to assessing the quality and safety of honey, combining the capabilities of nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy with artificial intelligence methods for further processing of spectral data**.**

Results and discussion. In the modern world, new methods for assessing honey quality and detecting adulteration are emerging. Among the main current challenges are ensuring the generalizability of models, harmonization of international datasets, and their proper validation under practical conditions. At the same time, the integration of spectroscopic methods with artificial intelligence technologies opens new opportunities for developing intelligent and traceable systems for honey authenticity control, increasing transparency in the global honey production and distribution sector [1].

The NMR spectroscopy method enables a comprehensive analysis of the chemical composition of honey without complex sample preparation [2]. Due to the high reproducibility and informativeness of spectral characteristics, this method allows detection of added sugar syrups (corn, rice, cane) as well as determination of the botanical and geographical origin of products. However, processing large volumes of spectral data requires the application of modern intelligent analytical algorithms.

Artificial intelligence plays a crucial role here, enabling automation of spectrum interpretation, increasing the accuracy and speed of impurity detection, and developing reliable models for classifying honey by origin. The use of machine learning methods makes it possible to create digital libraries of spectral profiles, significantly simplifying quality control and certification procedures. Furthermore, the integration of artificial intelligence with NMR technologies opens prospects for developing automated real-time honey quality monitoring systems. Such systems can be applied both in laboratory settings and within governmental control structures.

Conclusions. The combination of NMR spectroscopy capabilities with artificial intelligence technologies forms a modern scientifically grounded approach to honey quality control, contributing to increased transparency in its global circulation, ensuring food safety, and protecting consumer rights.

References

1. Biswas, A., Tasnim, M., Süfer, Ö. et al. (2026), Honey adulteration detection: a comprehensive review of traditional and modern techniques, *Journal of Food Measurement and Characterization,* pp. 1-36. https://doi.org/10.1007/s11694-025-03954-8
2. Gradishek, A., Rolle, A.-L., Namli, S. et al. (2026), NMR studies of honey: chemical composition, chemical-physical properties and molecular dynamics, *Magnetic Resonance in Chemistry,* 64 (3), pp. 333–348. https://doi.org/10.1002/mrc.70074

Application of electrophysical methods in the food industry

Maria Sokolova, Darya Malchenko, Anastasia Bashtan, Svitlana Litvynchuk
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. A promising alternative to traditional heat treatment of food products is the introduction of electrophysical methods, which allow improving technological processes in various branches of food production.

Materials and methods. The work considers electrophysical methods for processing food raw materials, as well as meat and dairy products. The following methods were used: microwave heating, electrocontact (ohmic) heating and pulsed electric field (PEF) treatment.

Results and discussion. Let us analyze the specified methods in more detail.

Microwave technology (microwave heating) provides effective cooking, heating, defrosting, pasteurization, sterilization or drying of products using electromagnetic waves. In this case, heat is generated directly inside the product due to the interaction of microwaves with polar molecules. The dielectric properties of the food material also play an important role in the conversion of microwave energy into thermal energy. That is, microwave radiation provides rapid and uniform heating, reducing the duration of the processing of dairy and meat products without deteriorating nutritional and organoleptic properties [1].

Of particular importance is ohmic heating, which is based on the passage of electric current through the product. Studies [2] have shown that this method allows pasteurization of products with a high content of solid particles without the risk of overheating the wall layers of the equipment. Ohmic heating allows processing with less loss of nutrients, since the time to reach the target temperature is reduced several times compared to tubular heat exchangers.

It is known that IEP is used for processing potatoes, chicory, meat and dairy products [3]. As a result of such processing, microorganisms are inactivated (and in this case there is no need to use preservatives), a longer shelf life of products is ensured and their quality indicators are maintained at high levels. At the same time, effective extraction of biologically active components from raw materials is ensured.

Conclusions. The use of electrophysical methods (microwave heating, electric contact heating and pulsed electric fields) in the food industry allows to intensify heat and mass transfer, reduce the duration of processing, increase the shelf life of products, and also preserve their nutritional value and high quality.

References

1. Singh, A.P., Erdogdu, F., Wang, S. & Ramaswamy, H.S. (2024). Microwave Processing of Foods: Challenges, Advances and Prospects. *Springer Food Engineering Series, Switzerland*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51613-9
2. Leong, S. Y., & Oey, I. (2022). Application of Novel Thermal Technology in Foods Processing. *Foods,* 11(1), 125. https://doi.org/10.3390/foods110101253
3. Sviatnenko, R., Marynin, A., Bandura, U., & Bortnichuk, O. (2024). Electrophysical methods of food processing and their hardware support. *Electrical and information systems,* (106), 75–79. https://doi.org/10.32782/EIS/2024-106-13

Дослідження інфрачервоних спектрів відбивання цукропродуктів

Валерій Богуцький, Марія Новікова, Світлана Літвинчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Застосування БІЧ-спектроскопії є актуальним фізичним методом дослідження якісних характеристик харчових продуктів, що дозволяє проводити швидку ідентифікацію їх складу (при цьому не порушується цілісність зразка та не використовуються хімічні реактиви).

Матеріали та методи. Об'єктом досліджень слугував цукор-пісок із різним рівнем вологості (визначеним на вологомірі «Radwag MA 110.R»). Спектральні характеристики зразків знімали за допомогою аналізатора «Інфрапід-61» у ближній інфрачервоній області з метою виявлення особливостей відбивання залежно від стану продукту, а також для порівняння його з іншими цукропродуктами.

Результати та обговорення. Вимірювання інфрачервоних спектрів відбивання досліджуваних зразків проводиди у діапазоні довжин хвиль, що лежать у межах від 1330 до 2370 нм. Вибір такого діапазону був зумовлений тим, що саме на цій ділянці знаходяться резонансні частоти коливань молекулярних зв'язків, які характерні для вуглеводів та води. Коли інфрачервоне випромінювання падає на кристал цукру, то енергія фотонів відповідає частотам коливань молекул. Внаслідок цього вони поглинають частину випромінювання, а непоглинута частина відбивається та повертається до оптичного приладу, формуючи характерний спектр речовини.

Отримані експериментальні дані показали, що інфрачервоні спектри відбивання цукру-піску з різним вмістом вологи (від 0,02 % до 0,76 %), відібрані на різних етапах технологічного процесу (до та після обробки в барабані), мають подібну форму, проте відрізняються за інтенсивністю. Зокрема, зі збільшенням вологості зразків спостерігається закономірне зниження відносного коефіцієнта відбивання. Тобто якщо бачимо, що спектральний графік зразка розташовується нижче за інший, то це є прямим доказом того, що продукт змінив свою структуру і набрав зайву вологу з навколишнього середовища.

Авторами досліджень також було порівняно інфрачервоні спектри відбивання зразків цукру-піску (еталону) з цукровою пудрою, ванільним цукром, бджолиною обніжкою (комплексної природної суміші, до складу якої також входять цукри) та розпушувачем (пекарського порошка, який за зовнішнім виглядом може бути схожим на цукрову пудру, але за хімічною природою не є цукровмісною речовиною і не належить до цукрів). Результати показали, що спектральні графіки зазначених продуктів мають відмінності у порівнянні з цукром-піском. Для цукрової пудри спостерігалася зміна інтенсивності відбивання, що спричинено зміною дисперсності у порівнянні з еталонним зразком. Певна відмінність у спектрах відбивання була зафіксована для ванільного цукру, що пояснюється наявністю у його складі ваніліну. А найбільш суттєві відхилення від еталона було зафіксовано у спектрах бджолиної обніжки та розпушувача, що зумовлено специфічним хімічним складом та структурою цих кондитерських добавок.

Висновки. Інфрачервона спектроскопія відбивання є ефективним експрес-методом аналізу цукропродуктів, причому не потребує попередньої пробопідготовки. Такий метод дає змогу достовірно визначати вологість цукру-піску, а також ідентифікувати різні види кондитерських добавок, які містять цукор. Це дозволить проводити оперативний контроль якості та аналізувати цукристі компоненти, які використовуються у харчовій промисловості.

Використання ультразвуку при виготовленні десертів

Яна Колодзейська, Світлана Літвинчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасна концепція кондитерського виробництва трансформується у бік підвищення нутрітивної щільності та забезпечення метаболічного гомеостазу. Створення складних багатокомпонентних систем (десертів на основі рослинних білків, альтернативного молока, вершків та полісахаридів) потребує ретельного контролю реологічних характеристик.

Матеріали та методи. У роботі досліджено вплив ультразвукової обробки на виготовлення десертів.

Результати та обговорення. Традиційна термообробка часто призводить до деградації біоактивних компонентів, тому ультразвук виступає ефективною альтернативою для модифікації текстури десертів [1]. Ключовим чинником впливу ультразвуку є акустична кавітація. Локальні перепади тиску та зсувні сили викликають дезінтеграцію білкових агрегатів та часткову желатинізацію крохмальних гранул без значного підвищення температури системи [4]. Це дозволяє маніпулювати в'язкістю та стабільністю складних систем на етапі змішування компонентів. Аналіз реологічних моделей (зокрема моделі Оствальда-де-Ваале) показує, що застосування низькочастотного ультразвуку високої інтенсивності сприяє переходу систем до чітко вираженої псевдопластичної поведінки [3].

Ультразвукова обробка впливає на білкову фракцію та ініціює конформаційні зміни білкових макромолекул, що супроводжуються їх частковою денатурацією та експонуванням внутрішніх гідрофобних груп. Це суттєво підвищує емульгуючу здатність та термодинамічну стабільність десертних мусів [3, 4].

Відомий також вплив ультразвуку на полісахариди. Зокрема, у поєднанні з гідроколоїдами, сонікація забезпечує формування міцнішої тривимірної мережі (збільшення модуля пружності), що важливо для структури гелів без сахарози [3].

На відміну від нагрівання (термічного методу), ультразвукова обробка мінімізує синерезис та забезпечує однорідний розподіл частинок (гомогенізацію), що підтверджується зміною індексу консистенції [2, 3, 4].

Висновки. Використання ультразвуку при виготовленні корисних десертів дозволяє досягти стабільних реологічних показників без термічної деструкції сировини. Це відкриває шлях до створення продуктів превентивної нутріціології з заданою текстурою та високим вмістом біологічно активних речовин.

Література

1. Alshehhi, M., Wu, G., Kangsadan, T., Chew, K. W., & Show, P. L. (2023). Ultrasound-Assisted Food Processing: A Mini Review of Mechanisms, Applications, and Challenges. *E3S Web of Conferences*, 428, 02011.
2. Astrain-Redín, L., Alejandre, M., Raso, J., Cebrián, G., & Álvarez, I. (2021). Direct Contact Ultrasound in Food Processing: Impact on Food Quality. *Frontiers in Nutrition*, 8, 633070.
3. Rodríguez Rivera, Á. E., Hidalgo Millán, A., Delgado-Delgado, R., & Rodríguez-Lazcano, Y. (2025). Effect of the polysaccharide addition, high-intensity ultrasound, and high hydrostatic pressure on the rheological parameters of protein isolates: A mini review. *Food Biomacromolecules*, 2, 366–376.
4. Singla, M., & Sit, N. (2021). Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105506.

Застосування електрофізичних методів у харчовій промисловості

Дар'я Мальченко, Анастасія Баштан, Марія Соколова, Світлана Літвинчук
Національний університет харчових технологій

Вступ. Перспективною альтернативою до традиційної теплової обробки харчових продуктів є впровадження електрофізичних методів, які дозволяють удосконалювати технологічні процеси різних галузей харчових виробництв.

Матеріали та методи. У роботі розглянуто електрофізичні методи обробки харчової сировини, а також м'ясних та молочних продуктів. Використано наступні методи: НВЧ-нагрівання, електроконтактне (омічне) нагрівання та обробка імпульсними електричними полями (ІЕП).

Результати та обговорення. Проаналізуємо детальніше зазначені методи.

Мікрохвильова технологія (НВЧ-нагрівання) забезпечує ефективне приготування, нагрів, розморозку, пастеризацію, стерилізацію або сушіння продуктів за допомогою електромагнітних хвиль. При цьому безпосередньо всередині продукту відбувається генерація тепла за рахунок взаємодії мікрохвиль із полярними молекулами. Діелектричні властивості харчового матеріалу також відіграють важливу роль у перетворенні енергії мікрохвильового випромінювання на теплову енергію. Тобто НВЧ-випромінювання забезпечує швидке та рівномірне нагрівання, скорочуючи тривалість процесу обробки молочних та м'ясних продуктів без погіршення харчових та органолептичних властивостей [1].

Особливе значення має омічне нагрівання, яке базується на проходженні електричного струму крізь продукт. Дослідження [2] показали, що такий метод дозволяє проводити пастеризацію продуктів із високим вмістом твердих часток без ризику перегріву пристінкових шарів обладнання. Омічне нагрівання дозволяє проводити обробку з меншими втратами поживних речовин, оскільки час досягнення цільової температури скорочується в декілька разів порівняно з трубчастими теплообмінниками.

Відомо, що ІЕП застосовується для оброблення картоплі, цикорію, м'ясних і молочних продуктів [3]. У результаті такої обробки відбувається інактивація мікроорганізмів (причому в такому разі немає необхідності використовувати консерванти), забезпечується триваліший термін зберігання продуктів й зберігаються високими показники їх якості. При цьому забезпечується ефективне вилучення біологічно активних компонентів із сировини.

Висновки. Використання у харчовій промисловості електрофізичних методів (НВЧ-нагрівання, електроконтактного нагрівання та імпульсних електричних полів) дозволяє інтенсифікувати тепломасообмін, скоротити тривалість обробки, підвищити термін зберігання продуктів, а також зберегти їх харчову цінність та високу якість.

Література

1. Singh, A.P., Erdogdu, F., Wang, S. & Ramaswamy, H.S. (2024). Microwave Processing of Foods: Challenges, Advances and Prospects. *Springer Food Engineering Series, Switzerland*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51613-9

2. Leong, S. Y., & Oey, I. (2022). Application of Novel Thermal Technology in Foods Processing. *Foods*, 11(1), 125. https://doi.org/10.3390/foods11010125

3. Святненко, Р., Маринін, А., Бандура, У., & Бортнічук, О. (2024). Електрофізичні методи оброблення харчових продуктів та їх апаратурне забезпечення. *Електротехнічні та інформаційні системи*, (106), 75–79. https://doi.org/10.32782/EIS/2024-106-13

Контроль якості меду за допомогою ЯМР та штучного інтелекту

Вероніка Любімова, Світлана Літвинчук, Аліна Сірик
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Одним із сучасних ключових підходів до забезпечення прозорості та простежуваності глобальних ланцюгів постачання є поєднання сучасних цифрових технологій із усталеними процедурами контролю якості харчових продуктів. Особливо актуальним це питання є для ринку меду, який належить до продуктів, що характеризується значними ризиками фальсифікації даного продукту.

Матеріали та методи. У дослідженні застосовано комплексний аналітичний підхід щодо оцінювання якості та безпечності меду, який поєднує можливості ядерно-магнітного резонансу (ЯМР) та застосування методів штучного інтелекту для подальшої обробки спектральних даних.

Результати та обговорення. У сучасному світі з'являються нові методи оцінювання якості меду та виявлення фальсифікації. Серед основних сучасних викликів залишаються забезпечення узагальнюваності моделей, гармонізація міжнародних масивів даних та їх належна валідація у практичних умовах. Водночас інтеграція спектроскопічних методів із технологіями штучного інтелекту відкриває нові можливості для формування інтелектуальних і простежуваних систем контролю автентичності меду, підвищуючи прозорість глобальної галузі його виробництва та обігу [1].

Метод ЯМР дозволяє здійснювати комплексний аналіз хімічного складу меду без складної попередньої підготовки зразків [2]. Завдяки високій відтворюваності та інформативності спектральних характеристик цей метод дає можливість виявляти додані цукрові сиропи (кукурудзяний, рисовий, тростинний), а також встановлювати ботанічне та географічне походження продукції. Разом із тим, обробка великого обсягу спектральних даних потребує застосування сучасних інтелектуальних алгоритмів аналізу. Саме тут важливу роль відіграє штучний інтелект, який дозволяє автоматизувати процес інтерпретації спектрів, підвищити точність і швидкість ідентифікації домішок та сформувати надійні моделі класифікації меду за походженням. Використання методів машинного навчання забезпечує можливість створення цифрових бібліотек спектральних профілів, що значно спрощує процедури контролю якості та сертифікації продукції. Інтеграція штучного інтелекту з технологіями ЯМР також відкриває перспективи створення автоматизованих систем моніторингу якості меду в реальному часі. Такі системи можуть використовуватися як у лабораторних умовах, так і в структурах державного контролю.

Висновки. Поєднання можливостей ЯМР із технологіями штучного інтелекту створює сучасний, науково обґрунтований підхід до контролю якості меду, що сприятиме підвищенню прозорості його міжнародного обігу, зміцненню харчової безпеки та захисту прав споживачів.

References

1. Biswas, A., Tasnim, M., Süfer, Ö. et al. (2026), Honey adulteration detection: a comprehensive review of traditional and modern techniques, *Journal of Food Measurement and Characterization,* pp. 1-36. https://doi.org/10.1007/s11694-025-03954-8
2. Gradishek, A., Rolle, A.-L., Namli, S. et al. (2026), NMR studies of honey: chemical composition, chemical-physical properties and molecular dynamics, *Magnetic Resonance in Chemistry,* 64 (3), pp. 333–348. https://doi.org/10.1002/mrc.70074

Біофізика сучасних кардіологічних технологій

Олександра Журавкова, Михайло Лазаренко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Імпульсна польова абляція (Pulsed Field Ablation, PFA) – це метод впливу на міокард, що ґрунтується на взаємодії коротких імпульсів з біологічною тканиною. Важливим параметром є порогове значення електричного поля (Lethal Electric Field, LET), при якому здійснюється незворотний ефект абляції.

Матеріали та методи. Проведено аналіз експериментальних даних імпульсної польової абляції на тканині шлуночків свинячого серця [1]. У роботі розглянуто міокард як провідне середовище, а також параметри електричного поля, що визначають ефект абляції, враховуючи фізичні аспекти взаємодії імпульсів з тканиною.

Результати та обговорення. Імпульсна польова абляція реалізується через високовольтні імпульси, які створюють електричне поле достатньої амплітуди для перевищення порогового значення [1]. Зона дії поля залежить від геометрії електродів, анізотропії та електропровідності середовища, а також від характеристик імпульсів: амплітуди, тривалості та кількості серій.

Підвищення амплітуди напруги або числа імпульсних серій зменшує необхідне порогове значення для досягнення заданого об’єму впливу, що забезпечує контрольоване охоплення цільової ділянки. Чисельне моделювання дозволяє оцінювати форму та глибину зони дії поля, враховуючи гетерогенність середовища та нелінійну залежність провідності від напруженості поля [1].

Побічний термічний ефект від проходження електричного струму залишається мінімальним. Максимальна локальна температура в зоні, найближчій до електрода, не перевищує 60 °C на глибині 1мм, при цьому об’єм термічного ушкодження становить менше 2 % від загального розміру зони дії [1]. Розподіл електричного поля визначає, які ділянки тканини піддаються впливу імпульсів, забезпечуючи селективну зону абляції без впливу на сусідні клітини.

Під час імпульсної польової абляції структурних змін зазнає лише обрана ділянка міокарда, а розмір і форма зони абляції визначаються напруженістю та конфігурацією електричного поля. Таким чином, оптимізація параметрів імпульсів та розміщення електродів забезпечує максимальну ефективність імпульсної польової абляції при мінімізації теплового внеску. При цьому існує можливість локального дозування та передбачуваного формування зони дії.

Висновки. Імпульсна польова абляція створює електричне поле у міокарді, яке призводить до пробою клітинних мембран та втрати їхньої провідності. Це продукує контрольований обсяг деструкції тканини, при цьому енергія подається точково, мінімізуючи вплив на сусідні ділянки. Також варто зазначити, що термічний вплив на ділянку є мінімальним, а тому ризик пошкодження сусідніх тканин нижчий, що робить цей метод безпечнішим.

Література

1. Miklavčič, D., Verma, A., Krahn, P. R. P. et al. (2024). Biophysics and electrophysiology of pulsed field ablation in normal and infarcted porcine cardiac ventricular tissue, *Scientific Reports,* Vol. 14, Art. 32063. URL: https://www.nature.com/articles/s41598-024-83683-y

Фізична основа методів біоінженерії для модифікації та інженерії мікроорганізмів з метою покращення їхніх біотехнологічних характеристик

Дарія Бабенко, **Михайло Лазаренко**
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. На сьогодні мікроорганізми широко використовуються у різних галузях - від медицини до промисловості. Проте їх природні властивості не завжди відповідають вимогам сучасних біотехнологій, тому виникає потреба в їх цілеспрямованій модифікації. Важливо розглядати ці процеси не лише з біологічної, а й з фізичної точки зору.

Матеріали та методи. У роботі розглянуто фізичні методи впливу на клітину, зокрема електропорацію, ультрафіолетове випромінювання, а також температурні та механічні фактори. Проаналізовано механізми їх дії на клітинні структури. На сьогодні мікроорганізми широко використовуються у різних галузях - від медицини до промисловості. Проте їх природні властивості не завжди відповідають вимогам сучасних біотехнологій, тому виникає потреба в їх цілеспрямованій модифікації. На мою думку, важливо розглядати ці процеси не лише з біологічної, а й з фізичної точки зору, оскільки саме фізичні фактори часто лежать в основі ефективних методів впливу на клітину.

Результати та обговорення. Одним із найбільш показових прикладів є електропорація [1]. Суть цього методу полягає у дії короткочасного електричного поля на клітинну мембрану, внаслідок чого в ній утворюються тимчасові пори. Через ці пори в клітину може проникати ДНК або інші молекули. Важливо, що цей процес є керованим, і після припинення дії поля мембрана відновлює свою цілісність.

Також значну роль відіграє використання ультрафіолетового випромінювання. Воно здатне викликати зміни в структурі ДНК, що призводить до мутацій. Хоча мутації часто асоціюються з негативними наслідками, у біотехнології їх цілеспрямовано використовують для отримання нових штамів із потрібними властивостями, наприклад підвищеною продуктивністю або стійкістю. Окремо варто згадати температурні та механічні фактори. Зміна температури впливає на швидкість біохімічних реакцій і активність ферментів, а механічні та акустичні впливи (зокрема ультразвук) можуть змінювати проникність клітинних оболонок і інтенсивність обміну речовин.

Якщо узагальнити, всі ці методи базуються на передачі енергії клітині та її структурним компонентам. Саме це і є фізичною основою біоінженерії: взаємодія полів, випромінювання та інших факторів із біологічними системами.

Отже, використання фізично обґрунтованих методів модифікації мікроорганізмів є перспективним напрямом розвитку біотехнології, який дозволяє підвищити ефективність отримання корисних продуктів і створювати штами з наперед заданими характеристиками.

Висновки. Фізичною основою біоінженерії є взаємодія полів, вплив випромінювання та інших факторів із біологічними системами. Поєднання фізичних і біологічних підходів відкриває більше можливостей для дослідження і керування клітинними процесами.

Література

1. ЕЛЕКТРОПОРАЦІЯ // Фармацевтична енциклопедія. – URL: https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/6453/elektroporaciya

Вологість повітря та її вплив на живі організми

Ірина Кривоносова, Єлизавета Свічкар, Михайло Лазаренко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Вологість повітря є одним із ключових факторів навколишнього середовища, що суттєво впливає на життєдіяльність живих організмів. Вона визначає інтенсивність процесів випаровування, транспірації та терморегуляції. Зміни рівня вологості можуть як сприяти нормальному функціонуванню організмів, так і викликати негативні стани, особливо за умов її різких змін.

Матеріали та методи. Аналіз наукових публікацій, підручників з екології та відкритих інтернет-джерел [1-5] щодо ролі вологості повітря у функціонуванні рослинних і тваринних організмів.

Результати та обговорення. Вологість повітря насамперед впливає на водний баланс організмів. У рослин вона регулює процес транспірації – випаровування води через листя. За низької вологості інтенсивність транспірації зростає, що може призводити до втрати води та в'янення рослин. У таких умовах рослини змушені адаптуватися, що призводить до зменшення площі листкової поверхні, закривання продихи або накопичення води в тканинах.

За високої вологості повітря, навпаки, транспірація знижується, що може порушувати нормальне надходження мінеральних речовин із ґрунту. Крім того, надмірна вологість створює сприятливі умови для розвитку грибкових захворювань і патогенних мікроорганізмів.

Особливо чутливими до змін вологості є мікроорганізми. Для багатьох із них підвищена вологість є оптимальною умовою для росту та розмноження. Це є основною причиною швидкого поширення пліснявих грибів у вологих приміщеннях та екосистемах із надлишковим зволоженням.

Пліснява через підвищену вологість

Підвищена інтенсивність транспірації

Висновки. Вологість повітря є фактором, який впливає на фізіологічні процеси рослин, тварин і мікроорганізмів. Як недостатня, так і надмірна вологість можуть мати негативні наслідки для організмів, порушуючи їх водний баланс і життєві функції. Оптимальний рівень вологості є необхідною умовою для підтримання стабільності екосистем та нормального функціонування всіх живих організмів.

Література

1. https://myhumi.com.ua/uk/stati/chym-nebezpechne-vologe-povitrya-naslidky-pidvyshchenoyi-vologosti
2. https://himanaliz.ua/uk/yak-vologist-povitrya-vplivaie-na-zdorovya-lyudini/
3. https://in.landa.cx.ua/articles/jaki-faktori-vplivajut-na-transpiraciju.html
4. https://studfile.net/preview/5193874/page:10/
5. https://lnk.ua/SVNvJXcMv

Prospects for the use of emerging technologies in occupational health and safety management at food industry enterprises

Andrii Sukhyna, Oleksandr Tsiupryk, Olga Yevtushenko, Alina Siryk
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The occupational health and safety management system (OHSMS) of food industry enterprises is the basis for ensuring occupational safety in the food industry of Ukraine. The implementation of new models and principles in the information provision of OHSMS at a food enterprise with the involvement of modern information technologies plays a decisive role in the soundness and timeliness of management decisions made.

Materials and methods. The research was based on analyzing literature sources and summarizing scientific results.

Results and discussion. Digital technologies used in the information provision of the OHSMS of a food enterprise must perform the tasks of occupational risk assessment. Let us consider modern technologies based on the implementation of advanced methods: robotic systems [1] – robots can perform various tasks: lifting heavy loads, welding, and assembly, which minimizes physical strain on workers, reduces the risk of human error and exposure to hazardous conditions, thereby improving occupational safety and hygiene; artificial intelligence and machine learning [2] – artificial intelligence algorithms can analyze vast amounts of data to identify patterns and predict potential hazards, transforming workplace safety based on real-time monitoring and risk reduction strategies, and they also allow for the optimization of emergency response plans, ensuring a safer working environment; exoskeletons – devices that support and enhance workers' physical abilities, reducing the risk of injury during physically demanding tasks (lifting heavy loads) by decreasing the strain on muscles, lower limb joints, and the back, thereby providing mechanical support and improving overall workplace safety; unmanned aerial vehicles (UAVs) – can monitor large facilities, inspect structures, and assess hazardous zones without exposing workers to danger, while also being utilized for aerial mapping, surveillance, and tracking moving objects, helping to maintain occupational safety standards and prevent accidents; the Internet of Things (IoT) – involves a network of interconnected devices that collect and exchange data to enhance workplace safety, where sensors enable the real-time monitoring of environmental conditions, equipment status, and workers' health; virtual and augmented reality (VR/AR) – serve as powerful tools for safety training and management capable of simulating hazardous scenarios, allowing workers to practice safety protocols in a controlled environment, improving hazard identification, personnel training, and ensuring compliance with occupational safety standards.

Conclusion. Thus, an improvement of the OHSMS of food industry enterprises in terms of occupational risk management is proposed, which enables the identification of appropriate tools to address these risks, taking into account established objectives and necessary resources, which, in turn, will increase the efficiency of the preparation, adoption, and implementation of occupational safety management decisions.

References

1. Rania Gihleb, Osea Giuntella, Luca Stella, Tianyi Wang, Industrial robots, Workers' safety, and health, *Labour Economics*, Volume 78, 2022, 102205. https://doi.org/10.1016/j.labeco.2022.102205.

2. The role of artificial intelligence in predicting workplace hazards: a deep dive into safety management systems. https://lnk.ua/LQ9PkAsdO

Analysis of injuries among students and employees of educational institutions

Anatoliy Pasko, Diana Holovnia, Olga Yevtushenko
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The purpose of studying injuries in the field of education is to determine the patterns of accident occurrence, develop measures for their prevention, and promote the prophylaxis of injuries, which necessitates a systematic analysis and generalization of the causes of such incidents.

Materials and methods. The study was conducted using the method of statistical analysis of accidents that occurred in the field of education during the period from 2019 to 2024.

Results and discussion. Nearly 25.6 thousand state and communal educational institutions fall under the management of the Ministry of Education and Science, serving over 6 million students and employing 1.014 million staff members (Letter of the MES "On the state of injuries among students and employees of educational institutions for 2024"). Official data provided by the State Statistics Service of Ukraine regarding the level of occupational injuries indicate that 834 employees in the education sector sustained injuries between 2019 and 2024, 48 of which were fatal (Statistical bulletin: Occupational injuries in Ukraine in 2019-2024).

An analysis of the distribution of accidents by main causes, types of activities, and professional groups was carried out. It was established that organizational factors lead to 60% of injuries among participants in the educational process. The primary cause of injuries among employees is identified as deficiencies and omissions in the organization of occupational safety, as well as the neglect of personal safety.

It has been proven that in 82.5% of cases, the cause of injury is the behavior of the student themselves, while only 17.5% of cases result from a hazardous situational environment.

Cases of non-occupational injuries among participants in the educational process that occurred in everyday life were also analyzed. According to statistical data on non-occupational (domestic) injuries between 2019 and 2024, 2,677 participants in the educational process died, including 111 individuals in the higher education sector: 34 in 2019, 16 in 2020, 27 in 2021, 27 in 2022, 7 in 2023, and 22 in 2024.

According to the analysis of non-occupational fatal injuries in 2024, transport accidents rank first in prevalence (22.05%), in second place–accidental drowning and submersion in water (19.42%), in third place – consequences of external causes of morbidity and mortality (13.65%), and in fourth place – intentional self-harm (11.29%). It is noted that the scale, damage, and complexity of resolving issues related to non-occupational fatal injuries make it a socially dangerous phenomenon. This requires a systemic approach to the prevention of domestic injuries at all levels, awareness of the priority of protecting life and health over other interests, strengthening control over the implementation of injury prevention measures, and planning fire safety measures.

Conclusion. Thus, a statistical analysis of injuries among participants in the educational process and employees of state and communal educational institutions, enterprises, and organizations under the management of the Ministry of Education and Science was conducted for the period from 2019 to 2024. It is recommended to use these research results during occupational health and safety briefings for both employees and students.

Modern challenges of biosafety of employees in the hotel and restaurant industry

Daria Lukashuk, Alina Siryk
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The hotel and restaurant industry is a sector of increased biological risk, as employees constantly interact with visitors, come into contact with food products, and use shared facilities. Global challenges, in particular the COVID-19 pandemic, have increased the requirements for biosafety, making worker protection an important element of occupational safety, which directly affects the stable operation of enterprises in the industry.

Materials and methods. The work used an analysis of scientific publications, recommendations of the Center for Public Health of the Ministry of Health of Ukraine, international WHO guidelines, and regulatory documents in the field of sanitary safety and food hygiene. The research methods are generalization of information, comparative analysis of risks and measures for the prevention of biological hazards in hotel and restaurant establishments.

Results and discussion. It was found that biological risks for workers are divided into external and internal. External risks include respiratory infections such as COVID-19, influenza, acute respiratory viral infections, tuberculosis, which can be transmitted by airborne droplets, as well as contact skin infections and fungal diseases [1]. Internal risks are associated with violations of sanitary working conditions in the institution: food infections (salmonella, E. coli, norovirus), mold in damp rooms, biological agents in ventilation and water supply systems (legionella) [2].

Effective personnel protection involves a set of preventive measures: vaccination, medical examinations, use of personal protective equipment, regular disinfection of surfaces, quality control of raw materials, air and water, implementation of the HACCP system and ongoing employee training.

Each preventive measure is implemented taking into account the possible danger, with an outline of the circle of people who may be infected. Thus, the COVID-19 pandemic has become an illustrative example of a high external risk - the use of protective face shields, mask mode, contactless service and enhanced sanitary requirements were introduced to protect workers [1]. These measures have proven the effectiveness of rapid adaptation to safety standards. No less important is the education and training of personnel in biosafety training and the development of algorithms for responding to possible outbreaks of infection

Conclusions. Biological risks are part of the professional activities of hotel and restaurant workers. Minimization of these risks is possible only under the conditions of a systematic approach that combines sanitary control, engineering solutions, preventive medicine and personnel training. Modern challenges require increased biosafety standards, which not only protects workers, but also builds consumer trust and ensures the stability of enterprises in crisis conditions.

References

1. World Health Organization: Infection prevention and control guidance for public settings. https://share.google/BABs10EBEUk8bYvc1
2. Центр громадського здоров'я МОЗ України: Біологічна безпека та профілактика інфекційних захворювань https://share.google/CAjKG8vZHeRHIuTjq

Перспективи застосування технології блокчейн в системі управління охороною праці підприємств фармацевтичної промисловості України

Даніла Сапа, Андрій Хорошун, Ольга Євтушенко, Аліна Сірик
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Застосування технології блокчейн у системі управління охороною праці (СУОП) на фармацевтичних підприємствах України є одним із найбільш перспективних напрямів цифровізації галузі. Основний потенціал полягає у створенні незмінних децентралізованих реєстрів для забезпечення безпеки праці [1].

Матеріали та методи. Дослідження проводилось на основі методу аналізу літературних джерел й узагальнення наукових результатів за темою роботи.

Результати та обговорення. Процес інтеграції в СУОП можна розділити на чотири рівні. Перший рівень збору даних – на виробничих лініях фармацевтичного підприємства встановлюються датчики які постійно зчитують параметри (наприклад концентрації речовин в повітрі робочої зони або наявність ЗІЗ на обличчі через камеру ШІ). Другий рівень передачі та обробки – дані з датчиків надходять на шлюз (відбувається первинна фільтрація) у блокчейн фіксуються лише критичні відхилення від норми та контрольні точки (хеші) кожні 10-15 хвилин для підтвердження моніторингу. Третій рівень виконання «Смарт-контракт», що містить заздалегідь прописані алгоритми безпеки (наприклад, якщо датчик зафіксував вхід працівника в зону А, смарт-контракт миттєво звіряє його ID у блоці «Медогляди», якщо термін медогляду сплив, система автоматично блокує живлення устаткування та створює запис про порушення). Четвертий рівень розподіленого реєстру, де дані зберігаються у вигляді криптографічно захищених блоків. Таким чином, жоден менеджер не зможе видалити запис про аварійну зупинку чи перевищення норм викидів. Дані, внесені до блокчейн, отримують часову мітку, що робить інформацію юридично значущою для подальших розслідувань. Перевагами використання блокчейну, зокрема для фармацевтичного виробництва, є: унеможливлення підробки дат або підписів у журналах з охорони праці при фіксації проведення інструктажів, проходження медичних оглядів та сертифікації працівників; інтелектуальні алгоритми автоматично обмежують доступ персоналу до небезпечних зон або обладнання, якщо термін допуску або медогляду закінчився; працює прозора система розслідування виробничого травматизму; поєднання блокчейну з датчиками (IoT) для моніторингу в реальному часі параметрів робочого середовища (температура, вологість, концентрація).

Висновок. Застосування блокчейн-технологій (як форми децентралізованого зберігання та підтвердження даних) є одним із перспективних наукових напрямків ефективного функціонування СУОП фармацевтичних підприємств та відкриває нові можливості підвищення безпеки праці у контексті реалізації Національної стратегії цифрової трансформації та впровадження міжнародних стандартів ISO 45001 (управління охороною здоров'я та безпекою праці) та ISO 31000 (управління ризиками), прозорості та довіри.

Література

1. Довгалюк А. Ю., Цимбал Б. М. Використання блокчейн-технологій у веденні документації з охорони праці: матеріали XVII Міжнародної науково-методичної конференції НТУ "Харківський політехнічний інститут" «БЕЗПЕКА ЛЮДИНИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ», 4 – 5 грудня 2025 р., С. 104-105.

Захист готової продукції та сировини підприємств харчової промисловості від техногенних небезпек

Лев Бех, Аліна Сірик, Ольга Євтушенко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Першочерговим завданням у системі безпеки харчових виробництв є захист працівників, поряд із чим не менш важливе значення має забезпечення захисту сировини та готової продукції від впливу можливих хімічних і радіаційних загроз.

Матеріали та методи. Матеріал підібрано з урахуванням чинного законодавства про дотримання вимог якості та безпеки харчових продуктів на базі рекомендацій ДСНС [1] та місцевих органів влади.

Результати та обговорення. Актуальність теми захисту сировини та готової продукції на підприємствах харчової промисловості зумовлена великою кількістю хімічних і харчових підприємств та наявністю активних енергоблоків АЕС, на яких можливі аварії. Усі ці фактори погіршує сучасна військова агресія щодо України, додаючи до розглянутих ризиків можливість прямого застосування хімічної та ядерної зброї. За таких умов пріоритетного значення набуває не лише безпека працівників підприємств, а також збереження чистоти сировини та харчової продукції як складових комплексу заходів, спрямованих на захист населення. Адже, разом із зараженими продуктами харчування, в організм людини можуть потрапляти небезпечні токсичні речовини, а споживання таких продуктів є негативними наслідками хімічної або радіаційної небезпеки. Наприклад, радіаційний пил, спожитий разом з незахищеним продуктом може призвести до променевої хвороби; споживання забруднених продуктів сильними хімікатами (хлором, аміаком чи важкими металами) викличе серйозні харчові отруєння, несумісні з життям. Основні заходи, які дозволять захистити сировину та готову харчову продукцію спрямовані на максимальну ізоляцію складських приміщень від навколишнього середовища та герметизацію продукції всіма можливими засобами. Так, згідно класифікації [1], повний захист харчової продукції забезпечує спеціальна герметично закрита металева та скляна тара. Ефективним засобом захисту також є поєднання полімерної або паперової упаковки з дерев'яною тарою для сипучої сировини (борошно, цукор). Також важливим засобом захисту продуктів є харчова плівка з поліетилену високого тиску. При виникненні аварійної ситуації на виробництві, складські приміщення мають буди максимально ізольованими від впливу зовнішнього середовища: система вентиляції не повинна пропускати у приміщення заражене повітря, двері мають забезпечувати герметичність. З урахуванням ядерної загрози, стіни приміщень для зберігання сировини та продукції мають бути мінімум 0,5 метрів завтовшки.

Висновки. Згідно з офіційними рекомендаціями ДСНС[1], головним напрямом захисту сировини та готової продукції є їх герметизація та забереження в ізольованому від навколишнього середовища приміщенні. Унеможливлення зараження продуктів харчування дозволить не тільки зберегти життя та здоров'я споживачів продукції але і уникнути економічних втрат для виробників.

Література

1. Захист продуктів харчування, фуражу, води від зараження. метод. реком. для начальників ЦЗ (ЦО) сільськогосподарських підприємств. уклад. Г.О. Мажар, Л.М. Богданович. URL: https://share.google/s2Ihc6CkYwDTIv5Os. (Дата звернення – 08.02.2026)

Сучасні засоби захисту дихальних шляхів працівників підприємств в умовах хімічної небезпеки

Максим Мишко, Аліна Сірик, Олег Коков
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Захист органів дихання належить до базових складових системи охорони праці при дії небезпечних хімічних факторів на промислових об'єктах і під час аварій, що супроводжуються викидом хімічних речовин. Токсичні сполуки здатні спричиняти як гострі, так і довготривалі ураження дихальної, серцево-судинної та нервової систем. Сучасні засоби індивідуального захисту можуть гарантувати безпеку в небезпечних умовах та зменшити ризик ураження хімічними речовинами.

Матеріали та методи. Інформаційною базою стали наукові публікації, міжнародні та національні нормативні документи, технічні описи засобів захисту, методичні рекомендації з охорони праці та цивільної безпеки.

Результати та обговорення. Засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) класифікуються на фільтруючі та ізолюючі залежно від принципу забезпечення безпечного дихання користувача. Серед відмінностей: фільтруючі – легші, зручніші, дешевші, але залежать від складу забрудненого повітря; ізолюючі – універсальні та надійні при високій небезпеці, але важчі й складніші в застосуванні та експлуатації. Фільтруючі ЗІЗОД працюють за принципом очищення навколишнього повітря через спеціальні фільтрувальні елементи та ефективні за умови достатнього вмісту кисню і відомого складу забруднювачів. Згідно з європейським стандартом (EN 149:2001), респіратори FFP2 класифікуються на 3 класи: FFP1 (мінімальна ефективність/продуктивність фільтрації 80%), FFP2 (продуктивність 94%) та FFP3 (продуктивність 99%) [1]. Новітні фільтруючі матеріали мають багатошарову структуру, електростатичні властивості, підвищену сорбційну здатність і знижений опір диханню. Ізолюючі ЗІЗОД забезпечують повну ізоляцію органів дихання від зовнішнього середовища та використовуються при невідомому складі повітря, високих концентраціях токсичних речовин або дефіциті кисню. До ізолюючих засобів належать автономні дихальні апарати зі стисненим повітрям, кисневі ізолюючі апарати та шлангові системи подачі повітря. Сучасні ізолюючі апарати оснащуються композитними балонами, електронними системами контролю ресурсу, сигналізацією та ергономічними масками з широким полем огляду. Вибір типу ЗІЗОД базується на результатах оцінки хімічних ризиків, можливих концентрації та хімічного складу небезпечних речовин, тривалості робіт і умов середовища тощо. Ефективність використання засобів захисту дихання суттєво підвищується за умови належного навчання персоналу, індивідуального підбору та регулярного технічного контролю.

Висновки. Застосування сучасних засобів індивідуального захисту органів дихання є визначальним елементом забезпечення безпеки працівників в умовах впливу хімічно небезпечних речовин та під час аварійних викидів. Перспективним напрямом є впровадження інноваційних матеріалів і інтелектуальних систем моніторингу ресурсу засобів захисту.

Література

1. Otrysal, P., Bungau, K., Obsel, V., Melikharik, Z., Tont, G. (2021), Selected respiratory protective equipment: respirators and the meaning of some markings. Sustainable Development, 13, 4988. https://doi.org/10.3390/su13094988

Сучасні підходи до проєктування захисних споруд цивільного захисту

Лев Бех, Ольга Євтушенко, Аліна Сірик
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасні підходи до проектування захисних споруд цивільного захисту в Україні базується на посиленні конструктивної міцності, забезпеченні автономності функціонування та багатофункціональності використання.

Матеріали та методи. Дослідження проводилось на основі методу аналізу літературних джерел й узагальнення наукових результатів за темою роботи.

Результати та обговорення. Основні тренди при проектуванні захисних споруд цивільного захисту включають використання заглиблених конструкцій, впровадження високоефективних систем вентиляції, фільтрації та забезпечення маломобільних груп.

Захисні споруди цивільного захисту в Україні поділяються на сховища (герметичні споруди для надійного захисту від зброї масового ураження, надмірних температур та небезпечних хімічних речовин) та протирадіаційні укриття (ПРУ, герметичні споруди, що забезпечують захист від іонізуючого випромінювання та частково від вибухової хвилі), які є основними спорудами колективного захисту [1]. Додатково виділяють найпростіші укриття (підвальні приміщення, підземні паркінги, метрополітен). Найбільш актуальним підходом щодо споруд подвійного призначення (СПП) є те, що об’єкт у мирний час слугує паркінгом, спортзалом або коворкінгом, а в особливий період – укриттям.

Інженерне забезпечення включає: обов’язкову наявність фільтровентиляційних установок, а також системи регенерації повітря для тривалого перебування; створення резервних або альтернативних джерел енергозабезпечення, аварійних засобів зв’язку та освітлення, запасів води (сучасні проєкти передбачають власні артезіанські свердловини) та харчування; облаштування необхідної кількості вбиралень та душових; інклюзивність – доступність для людей з інвалідністю (пандуси, розширені проходи, тактильна навігація та спеціально обладнані санвузли для маломобільних груп). Міцність конструкцій передбачає використання інноваційних матеріалів: бетону з вуглецевими волокнами, залізобетону підвищеної міцності, посилення перекриття, влаштування герметичних дверей для поглинання ударної хвилі. Психологічний комфорт забезпечується використанням акустичних панелей, правильного зонування (окремі зони для сну, приготування їжі, дитячі ігрові) та покращеного освітлення для зменшення стресу при тривалому перебуванні. Застосування модульних рішень та префабрикації стає стандартом для швидкого реагування на загрози, особливо в освітніх та медичних закладах. Ключовим вектором розвитку є впровадження систем «розумного укриття» (дистанційний контроль за герметичністю, рівнем кисню) і повна енергетична незалежність.

Висновок. Отже, найбільш перспективним підходом до проектування захисних споруд цивільного захисту є створення об’єктів СПП (споруд подвійного призначення). Це дозволить інтегрувати безпекову інфраструктуру в міську забудову (паркінги, коворкінги), роблячи утримання споруд фінансово виправданим.

Література

1. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. Київ : Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023. URL: https://ips.ligazakon.net/document/DBN00101 (дата звернення: 12.03.2026)

16.2.

Higher mathematics

16.2.

Вища математика

Михайло Остроградський: великий українець у світовій математиці «До 225-ої річниці з дня народження видатного математика»

Андрій Аріскін, Іван Юрик
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Михайло Васильович Остроградський (1801–1862) — видатний український математик, механік і фізик, чиє ім'я за рішенням ЮНЕСКО внесено до списку найвидатніших науковців світу. Його постать є символом інтелектуальної потужності та незламності духу.

Життєвий шлях та становлення. Народився Михайло 24 вересня 1801 року в селі Пашенна на Полтавщині у родині дворянина, що походив із козацько-старшинського роду. З дитинства хлопець виявляв надзвичайну зацікавленість до вимірювань, хоча спочатку мріяв про військову кар'єру. Під тиском батька він вступив до Харківського університету, де під впливом викладача Тимофія Осиповського захопився математикою. Проте через конфлікт із реакційним керівництвом університету, яке звинуватило його у вільнодумстві та відсутності на лекціях з богослов'я, Остроградського позбавили атестата та наукового ступеня кандидата.

Не зламавшись, у 1822 році він вирушив до Парижа — тогочасного центру світової науки. Там він слухав лекції П'єра-Симона Лапласа, Жана-Батиста Фур'є та Андре-Марі Ампера. Його талант швидко помітив Огюстен-Луї Коші, який став не лише вчителем, а й другом українця. Вже у 24 роки Остроградський представив Паризькій академії наук мемуар «Про поширення хвиль у циліндричному басейні», що принесло йому світове визнання.

Наукова спадщина. Остроградський став автором понад 100 ґрунтовних наукових праць. Він вивів фундаментальну формулу, що нині відома як формула Остроградського-Гаусса, яка встановлює зв'язок між об'ємним і поверхневим інтегралами.

Його дослідження охоплюють математичний аналіз, теоретичну механіку, теорію чисел, алгебру та теорію ймовірностей. Важливим внеском став метод інтегрування раціональних функцій та розробки в галузі балістики, які змінили підходи до інженерних розрахунків.

Громадянська позиція. Живучи та працюючи у Петербурзі, Михайло Васильович ніколи не цурався свого коріння. Він підтримував тісні зв'язки з українською громадою, товаришував із Тарасом Шевченком, який з теплотою згадував математика у своєму щоденнику, та Семеном Гулаком-Артемовським. Остроградський завжди розмовляв українською мовою з земляками та допомагав молодим вченим з України.

Висновки. Наукова діяльність Остроградського стала фундаментом для багатьох галузей сучасної техніки. Його життя є прикладом того, як поєднання таланту та патріотизму дозволяє людині стати частиною світової інтелектуальної еліти, зберігаючи власну ідентичність.

Література:

1. 1801 – народився Михайло Остроградський, видатний математик// Український інститут національної пам'яті. URL: https://uinp.gov.ua/ (дата звернення: 07.02.2026).

Розв'язання інтегрального рівняння Вольтера операційним методом

Артем Бабенко, Іван Юрик
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Операційне числення було створено в кінці 19 ст., але строго математично обґрунтоване лише на початку минулого століття на базі теорії аналітичних функцій. Методи операційного числення базуються на зміні операцій диференціювання та інтегрування заданої функції $f(t)$ алгебраїчними операціями – відповідно операціями множення та ділення на деяку змінну p функції $F(p)$, що визначається згідно з певними правилами за функцією $f(t)$. В результаті цього багато математичних дій, виконання яких у диференційному та інтегральному численні є досить складним, зводяться до простіших алгебраїчних дій.

Операційне числення почали розвивати в своїх наукових працях такі відомі математики як Лейбніц, Ейлер, Лагранж, Лаплас, Фур'є, Коші. Подальші інтенсивні дослідження в теорії операційного числення проводили ельзаський математик Арбогаст, французькі математики Франсе і Лобатто, англійські математики Грегорі, Буль, Кармайкл.

В Україні операційне числення вперше розробив професор Київського університету Ващенко-Захарченко, який у 1862 р. видав у вигляді монографії магістерську дисертацію "Символьне числення та його застосування до інтегрування лінійних диференційльних рівнянь".

Розглянемо інтегральне рівняння Вольтера з ядром, що залежить від різниці аргументів: $y(t) = sht + 2\int_0^t e^{t-\tau} y(\tau) d\tau, t \geq 0$ (1)

Матеріали та методи. Для розв'язання рівняння (1) застосуємо перетворення Лапласа. Позначимо $y(t) \div Y(p)$. Для першого доданка у правій частині (1) маємо $sht \div \frac{3}{p^2-9}$. Другий доданок є згорткою функцій $y(t)$ та e^t. Ураховуючи те, що $e^t \div \frac{1}{p-1}$, за теоремою множення цей доданок після застосування перетворення Лапласа матиме вигляд $Y/(p-1)$,

У результаті інтегральне рівняння (1) перепишеться у вигляді:

$$Y(p) = \left[3/\left(p^2-9\right)\right] + 2\cdot\left[Y(p)/(p-1)\right].$$

Звідси знаходимо: $Y(p) = 3(p-1)/\left(\left(p^2-9\right)(p-3)\right) = 3(p-1)/\left((p-3)^2(p+3)\right)$.

Оскільки функція $Y(p)$ аналогічна при $Rep > 3$, то за формулою Мелліна отримаємо:

$$y(t) = \frac{1}{2\pi i}\int_{C-i\infty}^{C+i\infty} e^{pt}\, Y(p) dp = \frac{1}{2\pi i}\int_{C-i\infty}^{C+i\infty} \frac{3(p-1)e^{pt}dp}{(p-3)^2\,(p+3)}, \quad (2)$$

де $c > 3$ – довільне фіксоване число.

Для обчислення інтеграла (2) при $t \geq 0$ контур інтегрування залишаємо в півплощині $Rep > c$, у якій підінтегральний вираз має полюс другого порядку в точці $p = 3$, та простий полюс у точці $p = -3$.

Результат. Таким чином знаходимо:

$$y(t) = \operatorname*{res}_{p=3} \frac{3(p-1)e^{pt}}{(p-3)^2(p+3)} + \operatorname*{res}_{p=-3} \frac{3(p-1)e^{pt}}{(p-3)^2(p+3)} = \frac{2}{3} sh3t + te^{3t}, t \geq 0$$

Література. Мартиненко М. А., Юрик І. І. Теорія функцій комплексної змінної. Операційне числення – К.: Слово, 2012. - 295с.

Стохастичне моделювання споживчого попиту на основі розподілу Пуассона як інструмент мінімізації операційних витрат

Марина Камінська, Юлія Васютинська
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У середовищі сучасної цифрової економіки та сервісно-орієнтованого бізнесу (IT-підтримка, кол-центри, банківські послуги) споживчий попит має стохастичний характер. Ключовою проблемою менеджменту стає розв'язання конфлікту між обмеженістю ресурсів та випадковістю вхідного потоку заявок. При цьому розглядають два види збитків: прямі (витрати на утримання зайвого персоналу при низькому попиті) та альтернативні (втрата доходу та лояльності через відмову клієнта стояти в черзі.

Матеріали і методи. Розподіл Пуассона є фундаментальним для моделювання подій, що відбуваються незалежно одна від одної. Основна умова застосування моделі – відповідність потоку критеріям:

стаціонарність: інтенсивність λ (середня кількість заявок за одиницю часу) є постійною для обраного інтервалу;

відсутність післядії: факт приходу одного покупця не впливає на ймовірність приходу наступного;

ординарність: імовірність одночасного надходження двох і більше заявок за нескінченно малий інтервал часу є мізерною.

Імовірність того, що за певний час надійде рівно k звернень:

$P_t(k) = \frac{(\lambda t)^k \cdot e^{-\lambda t}}{k!}$, де λ - середня інтенсивність потоку (кількість клієнтів за одиницю часу) [1].

Для умов нестабільного попиту (наприклад, «пікові години» в супермаркеті) пропонується використовувати неоднорідний пуассонівський процес. У цьому випадку λ не є константою, а є функцією від часу $\lambda(t)$.

Економічна оптимізація полягає у розрахунку коефіцієнта завантаження системи ρ.

$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, де μ — інтенсивність обслуговування (скільки клієнтів може опрацювати одна точка обслуговування за одиницю часу). Якщо $\rho \geq 1,$, черга зростатиме до нескінченності [2].

Висновки.

Впровадження неоднорідного пуассонівського процесу дозволяє компаніям реалізувати стратегію гнучкого управління ресурсами. Це особливо актуально для цифрової економіки, де швидкість реакції на зміну навантаження є ключовою конкурентною перевагою.

Література.

1. Росс, С. М. (2019) Вступ до моделей ймовірностей. 12-те видання, Academic Press, Лондон. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814346-9.00006-8.
2. Smith, V. L. (Ed.). (2026). Stochastic processes – models, methods and applications. IntechOpen.

Матеріали 92-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 20–24 квітня 2026 р. – Київ: НУХТ, – Ч.2.

Постановка задачі деформації рідкого в'язкого тіла під дією сил поверхневого натягу

Олександра Боровик, Олексій Зінькевич
Національний університет харчових технологій. Київ. Україна

Вступ. У теорії в'язкої рідини виокремлюється практично важливий клас задач наперед невідомою (вільною границею), яка визначається в процесі самого розв'язання.

Матеріали і методи. У попередніх роботах встановлено загальне інтегральне представлення розв'язку лінійованих рівнянь Нав'є-Стокса у випадку рухомих границь, і в плоскому випадку представлення для вектора швидкості є комбінацією гідродинамічних потенціалів подвійного і простого шару. Ядра потенціалів виражаються через елементарні функції, що дає можливість застосовувати теорію потенціалів до розв'язання прикладних задач.

Результати. Розглянемо рідке в'язке тіло, яке заповнює при $t \le 0$ (t – момент часу) область $D(0) \subset E_2$. Нехай при $t = 0$ рідина знаходиться в стані спокою, тобто [illegible] Припустимо, що з моменту часу $t = 0$ до границі рідини прикладено сили поверхневого натягу [illegible] $\alpha\kappa(\delta,t)$ [illegible]
(1).

Масові і дотичні сили відповідно в області D і на контурі L припускаємо рівними нулю. В виразі (1) α –коефіцієнт поверхневого натягу; $\kappa(\delta,t)$–кривизна контуру $L(t)$; [illegible] – радіус-вектор точок контуру рідини; [illegible] – зовнішня нормаль до контуру $L(t)$; $0 \le \delta \le a$, [illegible] Під дією сил поверхневого натягу частинки рідини приходять в рух, утворюючи рухомий контур $L(t)$.

Необхідно визначити $L(t)$ в новий момент часу t, а також швидкість [illegible] частинок рідини, яка задовольняє у $D(t)$ системі рівнянь Нав'є-Стокса

$$\begin{cases} \mu\Delta \vec{v}(\vec{x},t) = gradP(\vec{x},t), \\ div\,\vec{v}(\vec{x},t) = 0 \end{cases}$$
(2)

Координати $x_k = x_k(\delta,t)$ $(k = 1,2)$ рухомого контуру $L(t)$ зв'язані з розв'язком системи (2) кінематичним співвідношенням [illegible]

Тут $\vec{v}(\vec{x},t)$ – вектор швидкості частинок рідини контуру $L(t)$; $\vec{v}_0(\vec{x},t)$ – вектор швидкості точок контуру $L(t)$. В рівняннях (2) $\mu = const > 0$ – в'язкість рідини; $\gamma = const > 0$ – густина рідини; $P(\vec{x},t)$ – гідродинамічний тиск, $\vec{x} = (x_1, x_2) \in D$.

Висновки. Задача деформації в'язкого тіла зводиться до розв'язку інтегрального рівняння, яке відноситься тільки до границі області і враховує краєві умови безпосередньо. Перевага такого перетворення полягає в тому, що представляється можливим відразу визначити невідомі величини на границі, не обчислюючи їх у всій області.

Наукові засади баро- та електромембранних процесів харчових технологій

Остап Мазур[1], Олег Мазур[2]
1 — Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ,Україна
2 — Національний університет харчових технологій, Київ,Україна

Вступ. Сучасна харчова промисловість потребує впровадження інноваційних, енергоефективних та екологічно безпечних технологій. Одним із найперспективніших напрямів є використання баро- та електромембранних процесів для розділення, концентрування та очищення рідких харчових систем, що дозволяє максимально зберегти біологічну цінність продуктів.

Матеріали та методи. Об'єктами є рідкі харчові середовища. Застосовано методи баромембранного розділення під дією градієнта тиску, а також електромембранні методи під дією постійного електричного струму. Створення інтегрованих технологій, де замість традиційних термічних методів застосовуються мембранні, дозволяє знизити енерговитрати та зберегти термолабільні компоненти сировини.

Результати та обговорення. У харчових технологіях баромембранні процеси забезпечують концентрування та фракціонування без фазових перетворень і згубного впливу високих температур. Наприклад, ультрафільтрація ефективно використовується для виділення цінних сироваткових білків з молочної сироватки, а зворотний осмос застосовується для попереднього концентрування соків, що суттєво знижує енерговитрати на їх подальше випарювання.

Електромембранні процеси, зокрема електродіаліз, є незамінними для спрямованої зміни мінерального складу харчових розчинів. Їх застосування дозволяє ефективно видаляти надлишок солей з молочної сироватки, стабілізувати вина проти кристалічних помутнінь та коригувати кислотність фруктових соків без додавання хімічних реагентів.

Науковою основою цих процесів є селективна проникність напівпроникних полімерних або керамічних мембран. Ключовою проблемою при їх експлуатації залишається концентраційна поляризація та забруднення поверхні мембран.

Висновок. Впровадження баро- та електромембранних процесів у харчову промисловість є науково обґрунтованим шляхом до підвищення якості продукції, збереження її первинних властивостей та зменшення енергоємності виробництва. Незважаючи на високу ефективність, подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку нових, стійких до забруднення типів мембран та інтеграцію цих процесів у традиційні технологічні лінії.

Література. Змієвський, Ю. Г. (2018). Наукові засади баро- та електромембранних процесів харчових технологій: дис. д-ра техн. наук: 05.18.12. Київ: НУХТ.

Мирончук, В. Г., & Заіка, В. В. (2019). Мембранні процеси в технології харчових продуктів: теорія та практика. Київ: НУХТ.

Коваленко, О. В. (2023). Інноваційні засади застосування баромембранних технологій у соковій та консервній промисловості. Наукові праці ОНАХТ, 85(1), 112-118.

Задача про вибір оптимальної форми частинок каталізатора для проведення хімічної реакції

Катерина Раковець, Оксана Мулява
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Математика для хіміків - це корисний інструмент розв'язання багатьох хімічних задач. Застосування математики дозволяє перетворити якісні спостереження на точні кількісні дані, необхідні для експериментальної та теоретичної хімії.

Матеріали та методи. Огляд та аналіз літературних джерел для визначення ролі математичних методів розв'язання проблем і задач хімії.

Результати та обговорення. Прикладом використання знань з математики може бути розв'язання задач про вибір оптимальної форми частинок каталізатора для ефективності проходження хімічної реакції. Нехай частка каталізатора складається з великої кількості атомів металу, що мають форму кулі радіусом r. Порівняємо частинки кулястої та кубічної форми, що мають однаковий об'єм, і визначимо, в якій їх частка атомів лежить на поверхні каталізатора більше. Нехай куля має радіус R, а куб – ребро L Для оцінки частки атомів у поверхневому шарі знайдемо об'єм поверхневого шару Vпов. і розділимо його на обсяг усієї частинки Vкат. Об'єм поверхневого шару у сферичній частинці дорівнює різниці обсягів зовнішньої та внутрішньої кулі радіусу R − 2r:

$$X_{кулі} \approx \frac{6r}{R}, \quad r \ll$$

Об'єм поверхневого шару в кубічній частинці дорівнює різниці обсягів зовнішнього куба та внутрішнього куба зі стороною L − 4r:

$$X_{куба} \approx \frac{12r}{L}, \quad r \ll$$

Якщо куля та куб мають однаковий обсяг, то відношення часток атомів на поверхні для кулі та куба складає:

$$\frac{X_{кулі}}{X_{куба}} = 0,81 < 1$$

У куба при рівному об'ємі з кулею частка атомів на поверхні більша. Зрозуміло, цей результат справедливий лише наближено, що вільним обсягом між атомами металу можна знехтувати. В обох випадках частка атомів на поверхні зростає із зменшенням розміру частинок каталізатора. Це показує, що тонко подрібнені каталізатори ефективніші.

Висновок. Історія науки говорить про те, що на межах різних областей знань можуть відбуватися дуже цікаві події. І хоча хіміки та математики мислять зовсім по-різному, ті випадки, коли їм вдається взаємодіяти, призводять до появи гарних та нетривіальних результатів та сприяють збагаченню обох наук.

Список літератури

1. Гречанюк В. Г. Загальна та неорганічна хімія : навчальний посібник / В. Г. Гречанюк, Т. В. Вітовецька, В. Ю. Апанасенко ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. – Київ : КНУБА, 2024. –128 с. - Бібліогр.: с. 119.

2. Неділько С.А. Математичні методи в хімії: Підручник для студентів хімічних спеціальностей вищих навчальних закладів. К.:Либідь, 2005. – 256

Застосування диференціальних рівнянь в задачах електротехніки

Микита Бондарєв, Оксана Ніколаєва
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Нехай в електричному ланцюгу опір дорівнює R, сила струму I збуджується електрорушійною силою E. Самоіндукція дорівнює L. Нехай відомо, що електрорушійна сила змінюється за законом $E = E_0 \sin \omega t$, де E_0 і ω – сталі величини. Необхідно визначити силу струму в ланцюгу в момент t за умови, що в початковий момент часу $t = 0$ сила струму $I_0 = 0$.

Матеріали та методи. Відомо, що для сили струму I та опору R втрата напруги дорівнює IR. Для ланцюга із самоіндукцією L втрата напруги дорівнює $L\frac{dI}{dt}$. Тому повна втрата напруги для всього ланцюга дорівнює $E = IR + L\frac{dI}{dt}$. Замінюючи електрорушійну силу E її значенням, отримаємо $\frac{dI}{dt} + \frac{R}{L} I = \frac{E_0}{L} \sin \omega t$.

Результати. Розв'яжемо це рівняння методом Бернуллі. Нехай $I = uv$, де $u(t)$ і $v(t)$ є розв'язками системи диференціальних рівнянь: $\begin{cases} \frac{dv}{dt} + \frac{R}{L} v = 0; \\ \frac{du}{dt} = \frac{E_0}{Lv(t)} \sin \omega t. \end{cases}$

Після розв'язку першого рівняння одержимо $v(t) = e^{-Rt/L}$. Підставляючи це значення у друге рівняння, одержимо рівняння для визначення $u(t): \frac{du}{dt} = \frac{E_0}{L} \sin \omega t \cdot e^{\frac{R}{L}t}$,

розв'язавши яке отримаємо $u = \frac{E_0 e^{\frac{R}{l}t} \left(R \sin \omega t - L\omega \cos \omega t \right)}{R^2 + \omega^2 L^2} + C$.

Остаточно маємо $I = \frac{E_0 \left(R \sin \omega t - L\omega \cos \omega t \right)}{R^2 + \omega^2 L^2} + Ce^{-\frac{R}{l}t}$.

За заданих початкових умов $t = 0$, $I_0 = 0$ отримаємо $C = \frac{E_0 L\omega}{R^2 + \omega^2 L^2}$, звідки

$$I = \frac{E_0}{R^2 + \omega^2 L^2} \left(R \sin \omega t - L\omega \cos \omega t + L\omega e^{-\frac{R}{l}t} \right).$$

Даний розв'язок можна переписати у вигляді $I = \frac{E_0 L\omega e^{-\frac{R}{l}t}}{R^2 + \omega^2 t^2} + \frac{E_0 \sin(\omega t - \varphi)}{\sqrt{R^2 + \omega^2 t^2}}$.

Висновок. Сила струму, як доводить ця рівність, складається із двох частин. Перша має характер згасання, а друга – періодичний характер.

Література.

1. Дубовик, В.П. Вища математика : навч. посіб. для студ. вищ. навч. зак. /В.П.Дубовик, І.І. Юрик. -- 6-те вид. - К. : Ігнатекс-Україна., 2018. - 648 с.

Стратегія Ланчестера як інструмент аналізу ринкової конкуренції

Анастасія Мальцева, Оксана Ніколаєва

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Модель Ланчестера, розроблена Фредеріком Ланчестером під час Першої світової війни для розрахунку бойових втрат, сьогодні є потужним інструментом стратегічного менеджменту. Вона була адаптована для бізнесу японським консультантом Сін'їті Таока, модель розглядає частку ринку як «територію», а маркетингові ресурси — як «бойову потужність».

Матеріали та методи. Модель Ланчестера дозволяє математично оцінити шанси компанії на перемогу в конкурентній боротьбі та обрати оптимальну стратегію залежно від частки ринку.

Результати. В економічному контексті боротьба двох конкурентів описується системою диференціальних рівнянь, що відображають швидкість зміни їхніх ресурсів (часток ринку) у часі. Нехай x, y - обсяги ресурсів (продажів) компаній А та Б, a, b - коефіцієнти ефективності маркетингу/продажів; t - час.

Лінійний закон (Пряма конкуренція)

Застосовується для ринків персональних продажів (B2B, страхові агенти). Швидкість втрат залежить від взаємодії обох сторін:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = -axy, \\ \dfrac{dy}{dt} = -bxy, \end{cases} \Rightarrow b(x - x_0) = a(y - y_0).$$

Застосовується для B2B продажів або ринків, де результат залежить від кількості торгових агентів. Швидкість втрати ресурсів залежить від ефективності противника та власної чисельності (взаємне виснаження). В цій моделі перевага прямо пропорційна кількості ресурсів. Щоб перемогти вдвічі більшого конкурента, треба бути вдвічі ефективнішим.

Квадратичний закон (Масовий маркетинг)

Застосовується для споживчих ринків (B2C), де реклама діє на всіх одразу:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = -ay, \\ \dfrac{dy}{dt} = -bx, \end{cases} \Rightarrow b(x_0^2 - x^2) = a(y_0^2 - y^2).$$

Щоб здолати конкурента, який більший у 2 рази, компанія маєте бути ефективнішею у 4 рази. Застосовується для споживчих ринків (B2C), де одна рекламна кампанія впливає на весь ринок одразу. Швидкість втрати частки ринку однієї компанії залежить тільки від потужності та ефективності конкурента.

Висновок. Розглянуто та проаналізовано застосування модели Ланчестера в економіці.

Література. Schuler, J. (2001), Reflections on Lanchester strategy. Comp. Int. Rev., 12: 37-46. https://doi.org/10.1002/cir.1016

Застосування формули Ейлера при доведенні тригонометричних тотожностей

Ткач Валерія, Оксана Ніколаєва
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У роботі розглядається використання комплексних чисел для доведення тригонометричних тотожностей. Показано, що застосування формули Ейлера дозволяє звести тригонометричні перетворення до простіших алгебраїчних операцій.

Матеріали та методи. Комплексні числа відіграють важливу роль у різних розділах математики. Одним із ефективних напрямів їх застосування є доведення тригонометричних тотожностей. Основою такого підходу є формула Ейлера $e^{ix} = \cos x + i\sin x$, або в іншій формі $\cos x = \dfrac{e^{ix} + e^{-ix}}{2}$; $\sin x = \dfrac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$

Результати. Доведемо за допомогою формули Ейлера тотожність

$$\cos^2 x + \cos^2\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \cos^2\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = \frac{3}{2}.$$

Використовуючи формулу пониження степеню, запишемо суму квадратів косинусів у вигляді

$$S = \cos^2 x + \cos^2\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \cos^2\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = \frac{1 + \cos 2x}{2} + \frac{1 + \cos\left(2x + \frac{4\pi}{3}\right)}{2} +$$

$$+ \frac{1 + \cos\left(2x + \frac{8\pi}{3}\right)}{2} = \frac{3}{2} + \frac{1}{2}\left[\cos 2x + \cos\left(2x + \frac{4\pi}{3}\right) + \cos\left(2x + \frac{8\pi}{3}\right)\right].$$

За допомогою формули Ейлера маємо: $\cos 2x + \cos\left(2x + \frac{4\pi}{3}\right) + \cos\left(2x + \frac{8\pi}{3}\right) =$

$$= \frac{1}{2}\left[e^{i2x}\left(1 + e^{i\frac{4\pi}{3}} + e^{i\frac{8\pi}{3}}\right) + e^{-i2x}\left(1 + e^{-i\frac{4\pi}{3}} + e^{-i\frac{8\pi}{3}}\right)\right] = 0$$

Не складно показати, що $1 + e^{i\frac{4\pi}{3}} + e^{i\frac{8\pi}{3}} = 0$; $1 + e^{-i\frac{4\pi}{3}} + e^{-i\frac{8\pi}{3}} = 0$. Отже, $S = \dfrac{3}{2}$.

Висновок. Таким чином, використання комплексних чисел дозволяє значно спростити доведення тригонометричних тотожностей і дає можливість застосовувати алгебраїчні методи до задач тригонометрії. Цей підхід широко використовується у вищій математиці, теорії сигналів та інших галузях прикладної науки.

Література.

1. Дубовик, В.П. Вища математика: навч.посіб./ В.П.Дубовик, І.І.Юрик.-4-е вид.,перероб. і доп. – К.:Ігнатекс-Україна, 2013. - 636с.

Оптимізація стратегій підбору персоналу

Уляна Марченко, Олена Радзієвська
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасній HR-практиці часто виникає ситуація «безповоротного вибору»: кандидатів потрібно оцінювати послідовно, а відхилення претендента унеможливлює повернення до його кандидатури в майбутньому. Метою даної роботи є визначення математично обґрунтованої стратегії, яка мінімізує ризик найму некваліфікованого персоналу та максимізує шанси на залучення «зіркового» фахівця.

Матеріали і методи. Дослідження базується на класичній «задачі про секретаря», методах стохастичного аналізу та динамічному програмуванні.

Результати.

Сценарій 1: Вибір із трьох претендентів (n=3)

Умови: На посаду претендують три особи. Кадровик порівнює поточного кандидата з попереднім. Якщо поточний кандидат кращий за попереднього, він може бути обраний. Якщо кандидат відхилений, можливість повернутися до нього в майбутньому відсутня.

Мета: Визначити стратегію, яка максимізує ймовірність обрання найкращого кандидата.

У цій задачі ми не знаємо балів, лише порівнюємо кандидатів між собою (кращий/гірший).

Позначимо кандидатів за якістю: 1 (найкращий), 2 (середній), 3 (найгірший).

Оптимальна стратегія:1.Пропустити першого кандидата (просто подивитися на рівень).2.Другого кандидата брати лише тоді, якщо він кращий за першого.3.Якщо другий гірший за першого — чекати третього.

Сценарій 2: Вибір із чотирьох претендентів (n=4)

Умови: Аналогічні до першого сценарію, проте кількість учасників збільшується до чотирьох.

Зі збільшенням кількості людей поріг очікування стає критичнішим. Для n=4 оптимальною стратегією є:1.Пропустити першого кандидата.2. Другого брати, тільки якщо він найкращий серед усіх, кого ми бачили.3. Якщо другий не підійшов, третього брати, якщо він кращий за всіх попередніх.

Ймовірність успіху тут становить приблизно 46%. Як бачимо, чим більше людей, тим складніше вгадати ідеального, але стратегія "пропустити частину і порівнювати" залишається найкращою.

Сценарій 3: Вибір за бальною шкалою та ймовірнісним розподілом. У цьому випадку менеджер з персоналу спирається на апріорні дані про якість кандидатів. Кожному типу кандидата відповідає певна оцінка та ймовірність його появи: Цю задачу розв’язуємо методоь динамічного програмування Белмана.

Висновки. Для малих груп кандидатів (3–4 особи) стратегія «пропусти одного — порівняй наступних» дозволяє досягти успіху майже у половині випадків. При наявності чіткої бальної шкали, потрібно застосування методу динамічного програмування , який в розглянутому випадку доводить: якщо кадровик має в резерві 3 або 4 кандидати, оптимальною стратегією є відмова першому претенденту з середньою оцінкою (3 бали). Раціональний вибір полягає у продовженні інтерв'ю з метою отримання кандидата з вищою оцінкою, оскільки статистична ймовірність покращення результату перевищує ризик отримати некваліфікованого спеціаліста на останніх етапах.

Дослідження моделі Моно

Дар'я Рябокінь, Олена Радзієвська
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасній харчовій інженерії математичне моделювання виступає не просто як інструмент опису експериментальних даних, а як фундамент для проєктування складних біотехнологічних систем, оптимізації термічних процесів та забезпечення продовольчої безпеки. Серед широкого спектру математичних підходів особливе місце посідає модель Моно, яка вперше дозволила кількісно пов'язати швидкість росту мікроорганізмів із концентрацією лімітуючого субстрату. Історія виникнення моделі Моно тісно пов'язана з роботами французького біохіміка Жака Моно. Досліджуючи ріст бактеріальних культур в умовах обмежених ресурсів, він виявив, що швидкість збільшення біомаси не є лінійною функцією від кількості поживних речовин, а підпорядковується закону насичення.

Матеріали і методи. Використовуючи модель Моно досліджуємо, як змінюється концентрація мікроорганізмів у закритій системі та як це описується математично.

Результати. Відома математична модель Моно виявляє залежність між швидкістю збільшення періодичної культури від годувальних добавок. Якщо ми розглядаємо замкнену систему, то ця залежність описується наступною системою диференціальних рівнянь.

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = \frac{\mu_{max} S}{K_s + S} X \\ \frac{dX}{dt} = -Y \frac{dS}{dt} \end{cases},$$

де μ_{max} −максимально можлива швидкість зростання даного мікроорганізму, K_s − константа напівнасичення (концентрація субстрату, при якій $\mu = 0.5\,\mu_{max}$), S − концентрація лімітуючого субстрату, Y - економічний коефіцієнт (вихід біомаси за субстратом). Він показує, скільки грам нових клітин виходить із одного грама з'їденого цукру, субстрату.

Розберемо класичний приклад періодичного культивування звичайних пекарських дріжджів (Saccharomyces cerevisiae) на глюкозі. Для цього нам знадобляться типові кінетичні константи. Варто пам'ятати, що насправді вони залежать від температури, pH та складу середовища, але для моделювання ми візьмемо середні значення. Вхідні параметри: максимальна швидкість зростання $\mu_{max} = 0.4$ год$^{-1}$ (як швидко діляться клітини при надлишку їжі); константа Моно $K_s = 0{,}1$г/л. (концентрація цукру, при якій зростання уповільнюється вдвічі); економічний коефіцієнт $Y = 0{,}5$ (з1 г глюкози виходить 0.5 г біомаси). Початкова біомаса X_0 =0.1 г / л ("затравка" дріжджів на початку). Початковий цукор S_0 =20.0 $ г / л (скільки глюкози додали на початку спостереження.

Висновки. Використовуючи систему рівнянь і наведені дані, ми можемо розрахувати динаміку процесу. Така модель показує, що приблизно через 12-15 годин, в цьому випадку, дріжджі «з'їдять» всю глюкозу і їхня маса досягне максимум, й ця максимальна кількість дріжджів обчислюється за формулою $X_{fin} = X_0 + S_0 Y$

Математичні моделі руху та трансформацій у 2D-анімації

Вікторія Заліська, Ганна Циганкова
Національний університет харчових технологій

Вступ. Актуальним напрямом сучасної комп'ютерної графіки є дослідження математичних механізмів, що забезпечують реалістичність та плавність цифрової анімації.

Матеріали і методи. Дослідження проводилось з використанням програмного середовища Moho 14. Використовувалися методи аналітичної геометрії, лінійної алгебри, кінематики та чисельного моделювання. Візуалізація функцій руху здійснювалася за допомогою редактора графіків (Graph Mode).

Результати та обговорення. 1. Анімація як параметрична функція часу. В основі сучасної комп'ютерної анімації лежить відмова від покадрового малювання на користь динамічного моделювання. Об'єкт розглядається як набір змінних параметрів, кожен з яких є функцією, залежною від часової координати t. Це перетворює творчий процес на керування числовими потоками.

Математична модель. Будь-яка властивість (позиція (x, y), прозорість α, кут θ) описується рівнянням $P=f(t)$. Для найпростішого, рівномірного прямолінійного руху, використовується лінійна функція:

$$P(t) = P_0+v\,(t-t_0)$$

де v — перша похідна позиції за часом (миттєва швидкість). Оскільки швидкість стала, друга похідна (прискорення a) дорівнює нулю. Це базова кінематична модель, що описує інерціальний рух без впливу зовнішніх сил.

2. Інтерполяція: алгоритми обчислення проміжних станів

Процес анімації базується на дискретних значеннях — ключових кадрах. Проте, для створення ілюзії неперервності програма повинна самостійно "винайти" всі кадри, що знаходяться між ними.

Математична модель: Moho використовує поліноміальну інтерполяцію, зокрема, кубічні сплайни Ерміта та криві Безьє. Координати обчислюються за рівнянням:

$$P(t) = at^3+ bt^2 + ct + d$$

Коефіцієнти a, b, c визначають кривизну траєкторії та характер зміни швидкості.

Кубічна інтерполяція забезпечує неперервність не лише самої функції, а й її похідних, що важливо для візуального сприйняття плавності.

3. Векторна природа та афінні перетворення

Векторні об'єкти в Moho — це сукупність геометричних примітивів, описаних координатами точок.

Математична модель. Положення кожної точки описується радіус-вектором

$$r = (x, y).$$

Переміщення (*Translation*) — це операція додавання векторів $r' = r + d$. Масштабування (*Scaling*) — це множення координат на скалярні коефіцієнти або застосування діагональної матриці трансформації:

$$\frac{x'}{y'} = \begin{pmatrix} s_x & x \\ 0 & y \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

Висновки. Проаналізовано математичні моделі лінійного та нелінійного руху, поліноміальна інтерполяція (кубічні сплайни Ерміта та криві Безьє) об'єктів у програмі Moho 14, що функціонує як система прикладного математичного моделювання.

Софія Ковалевська - видатна жінка-математик XIX століття

Богдан Оніщук, Ганна Циганкова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Софія Василівна Ковалевська - перша у світі жінка-професор математики. Її життя є прикладом надзвичайної сили волі, таланту та боротьби за право жінок на освіту.

Матеріали і методи. Софія Ковалевська зробила значний внесок у розвиток науки, подолавши всі перешкоди, стала професором Стокгольмського університету та довела, що жінки можуть здійснювати відкриття світового рівня.

Результати і обговорення. Народилась 15 січня 1850 року в Москві. Змалку мала такі риси, як зосередженість, наполегливість у досягненні мети і цілковиту самостійність. Приватних викладачів дивувало те, як швидко дівчина засвоювала перші поняття з вищої математики. Щоб самостійно жити і вчитися, восени 1868 року Софія вступила у фіктивний шлюб із Володимиром Ковалевським виїхати до Європи. У Гейдельберзі, де працювали видатні вчені Кірхгоф, Гельмгольц, Бунзен та інші, Софія добилася дозволу відвідувати університетські лекції: щотижня слухала по 22 лекції, з яких 16 - з математики. Пізніше навчалася у Берліні під керівництвом видатного математика Карла Вейєрштрасса, який одразу визнав її винятковий талант, і вела власну наукову роботу. У цей період написано три складні математичні праці. Перша з них - «Зведення деякого класу абелевих інтегралів третього рангу до інтегралів еліптичних», її дуже високо оцінив Карл Веєрштрас. Друга праця «Про форму кільця Сатурна» доповнювала дослідження Лапласа з цього питання. Третя праця – «До теорії диференціальних рівнянь у частинних похідних» - узагальнювала відповідні дослідження самого Веєрштраса. У 1871 році рада Геттінгенського університету надала Ковалевській без екзамену ступінь доктора філософії з найвищою відзнакою.

Найважливішим науковим результатом Ковалевської стала теорема Коші-Ковалевської. Вона довела існування та єдиність розв’язку задачі Коші для диференціальних рівнянь в частинних похідних. Частинний випадок було доведено Огюстеном Коші в 1842 році, а сама теорема була повністю доведена Софією Ковалевською в 1875 році.

У 1883 р. Софія Ковалевська зайняла посаду приват-доцента Стокгольмського університету, ставши першою жінкою-професором математики в Європі.

Ковалевська працювала також в області теоретичної механіки, досліджувала обертання твердого тіла навколо нерухомої точки. До неї існували лише два точні розв’язки цієї задачі. Вона відкрила третій особливий випадок розв'язання задачі про обертання твердого тіла навколо нерухомої точки, який отримав назву «випадок Ковалевської». Вона довела, що при певному співвідношенні моментів інерції та спеціальному розташуванні центра мас рух тіла стає інтегровним, тобто, його можна описати точними математичними формулами. Інші її роботи стосувались теорії потенціалу, математичної фізики, небесної механіки. У 1888р. робота Ковалевської була відзначена премією Паризької академії наук. Пізніше за цю працю і Шведська академія наук короля Оскара II присудила Софії Ковалевській премію.

У 1889 році Ковалевську обрали членом-кореспондентом Російської академії наук.

Висновки. Софія Ковалевська зробила фундаментальні відкриття в математиці та механіці. Її дослідження стали основою сучасної науки, а її життя — прикладом сили розуму та прагнення до знань.

Точні розв'язки нелінійного рівняння дифузії

Вікторія Білоус, Тетяна Баранник
Полтавський національний педагогічний університет ім. В.Г. Короленка, Полтава, Україна

Вступ. Дослідження спеціальних класів диференціальних рівнянь і побудова їх точних розв'язків є невід'ємною складовою частиною **розробки адекватних моделей реальних процесів** у фізиці, біології та інших природничих науках, а також економіці, фінансовій математиці тощо.

Матеріали та методи. Методи класичного групового аналізу і умовних симетрій дозволяють знаходити спеціальні підстановки (анзаци), що редукують досліджуване рівняння до більш простого вигляду, чи навіть знаходити явні розв'язки. Відзначимо, що умовно-симетрійний підхід включає в себе пошук розв'язків нелінійних визначальних рівнянь, які в багатьох випадках не простіші, ніж рівняння, симетрія яких досліджується. Тому в окремих випадках пошук анзаців є більш простою і ефективною процедурою, ніж пошук умовних симетрій.

Результати та обговорення. Процеси дифузії описуються рівняннями виду

$$u_t = u_{xx} + \lambda u^{\frac{n-1}{2}} u_x + a_0 u^n + a_1 u + a_2 u^{\frac{n+1}{2}} + a_3 u^{\frac{3-n}{2}} + a_4 u^{2-n}, \qquad (1)$$

де $u = u(t,x)$, $u_t = \frac{\partial u}{\partial t}$, $u_{xx} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$, $u_x = \frac{\partial u}{\partial x}$, $\lambda \geq 0$, $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 \in R, n \neq 1$.

Рівняння (1) є узагальненням класичного рівняння Бюргерса $u_t = u_{xx} + \mu u u_x$, а також відомих рівнянь Фішера $u_t - u_{xx} = u(1-u)$ і Маррі $u_t = u_{xx} + \lambda u u_x + \varepsilon u^2 + +cu$. Важливим частинним випадком рівняння (1) є рівняння типу Колмогорова-Петровського-Піскунова

$$u_t = u_{xx} + a_0 u^n + a_1 u + a_2 u^{\frac{n+1}{2}} + a_3 u^{\frac{3-n}{2}} + a_4 u^{2-n}, \qquad (2)$$

яке досліджувалось в [1].

Для побудови точних розв'язків рівняння (1) використаємо анзац

$$u = k\left(\frac{z_x}{z}\right)^{\frac{2}{n-1}}, \qquad (3)$$

де k – стала, $z = z(t,x)$.

У результаті отримаємо такі розв'язки

$$u = k\left(\sqrt{-\frac{\lambda_3}{\lambda_2}}\right)^{\frac{2}{n-1}} \left[\tanh\left(\sqrt{-\frac{\lambda_3}{\lambda_2}}(x + |\lambda_2|t) + C\right)\right]^{\frac{2}{n-1}},$$

$$u = k\left(\sqrt{\frac{\lambda_3}{\lambda_2}}\right)^{\frac{2}{n-1}} \left[\tan\left(\sqrt{\frac{\lambda_3}{\lambda_2}}(x + |\lambda_2|t) + C\right)\right]^{\frac{2}{n-1}}, \text{ якщо } \lambda_2\lambda_3 > 0,$$

$$u = k\left(\sqrt{-\frac{\lambda_3}{\lambda_2}}\right)^{\frac{2}{n-1}} \left[\tanh\left(\sqrt{-\frac{\lambda_3}{\lambda_2}}(x + |\lambda_2|t) + C\right)\right]^{-\frac{2}{n-1}}, \text{ якщо } \lambda_2\lambda_3 < 0,$$

де $a_1 = \frac{2\lambda_1}{n-1}$, $a_2 = \frac{2\lambda_2}{n-1}k^{\frac{n-1}{2}}$, $a_3 = \frac{2\lambda_3}{n-1}k^{\frac{1-n}{2}}$, $a_4 = \frac{2\lambda_4}{n-1}k^{1-n}$.

Висновки. Підстановку (3) можна використати для досить широкого класу рівнянь (1). Деякі точні розв'язки рівняння (2) знайдено в роботі [1].

Література

1. Nikitin A.G., Barannyk T.A. (2004), Solitary wave and other solutions for nonlinear heat equations, *Central European Journal of Mathematic, 2(5*), pp. 840-858.

Розв'язання лінійних однорідних різницевих рівнянь, які виникають у імпульсних системах автоматичного регулювання

Анастасія Тузнікова, Ольга Островська
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Вступ. Розглянемо розв'язання лінійних різницевих рівнянь, до яких приводять рівняння імпульсних систем автоматичного регулювання. Аналогом різницевим рівнянням є диференціальні рівняння для функцій неперервного аргументу.

Матеріали та методи. Функція цілочисельного аргументу $f(n)$ називається решітчастою функцією. Вираз $\Delta f(n) = f(n+1) - f(n)$ називається першою різницею решітчастої функції. Друга різниця має вигляд $\Delta^2 f(n) = f(n+2) - 2f(n+1) + f(n)$, третя – $\Delta^3 f(n) = f(n+3) - 3f(n+2) + 3f(n+1) - f(n)$, і т. д. Рівняння виду $\Phi(n, x(n), \Delta x(n), ..., \Delta^k x(n)) = 0,$ або $\Phi(n, x(n), x(n+1), ..., x(n+k)) = 0,$ ($x(n)$ – шукана решітчаста функція) називається різницевим рівнянням *к*-го порядку, так як воно містить функцію $x(n)$ і $x(n+k)$, або рівнянням у скінченних різницях. Рівняння виду $x(n+k) + a_1 x(n+k-1) + ... + a_k x(n) = f(n),$ де $a_1, ..., a_k, f(n)$ – деякі решітчасті функції, називається лінійним різницевим рівнянням. Якщо $f(n) = 0$, то рівняння називається однорідним, інакше неоднорідним. Будемо розглядати однорідні лінійні різницеві рівняння, вважаючи, що $a_k \neq 0$, тобто, маємо рівняння к-го порядку.

Вираз $x(n) = \sum_{i=1}^{k} C_i x_i(n)$ – загальний розв'язок лінійного однорідного рівняння,, $x_i(n)$ – лінійно незалежні розв'язки цього рівняння, C_i – довільні сталі. У випадку, коли $a_1, ..., a_k$ – сталі, то розв'язок рівняння можна шукати у вигляді $x(n) = \lambda^n$, де λ -дійсне або комплексне. Рівняння $\lambda^k + a_1 \lambda^{k-1} + ... + a_k = 0$ – характеристичне рівняння. Якщо корені даного рівняння тільки прості, то загальний розв'язок має вигляд: $x(n) = \sum_{i=1}^{k} C_i \lambda_i^n$, якщо один з коренів характеристичного рівняння має кратність r, то йому відповідає r частинних лінійно незалежних розв'язків $\lambda^n, n\lambda^n, n^2\lambda^n, n^3\lambda^n, ..., n^{r-1}\lambda^n$. Якщо серед коренів характеристичного рівняння є комплексні, то парі спряжених коренів $\lambda = \rho(cos\varphi + i\sin\varphi),\ \bar{\lambda} = \rho(cos\varphi - i\sin\varphi)$ відповідають два частинні розв'язки $x_1(n) = \rho^n \cos n\varphi$, $x_2(n) = \rho^n \sin n\varphi$. Якщо задані початкові умови, знаходимо C_i, та записуємо частинний розв'язок різницевого рівняння.

Результати. ***Приклад***. Знайти загальний розв'язок різницевого рівняння: $\Delta^3 x(n) + 3\Delta^2 x(n) + \Delta x(n) - 7x(n) = 0$ ***Розв'язання.*** Замінивши різницю відповідними значеннями функції, отримаємо $x(n+3) - 8x(n) = 0,$ складемо характеристичне рівняння $\lambda^3 - 8 = 0$ та знайдемо корені,

$$\lambda_1 = 2,\ \lambda_{2,3} = -1 \pm i\sqrt{3} = 2(\cos 2\pi/3 \pm i \sin 2\pi/3).$$

Частинні розв'язки: $x_1(n) = 2^n,\ \ x_2(n) = 2^n \cos n2\pi/3,\ x_3 = 2^2 \sin n2\pi/3$.

Загальний розв'язок: $x(n) = C_1 2^n + C_2 2^n \cos n2\pi/3 + C_3 2^n \sin n2\pi/3$.

Висновки. Отже застосовуючи необхідні методи ми отримали загальний та частинний розв'язки лінійного однорідного різницевого рівняння.

Section 17

Chemistry and chemical technology

Секція 17

Хімія і хімічні технології

17.1.

Chemistry

17.1.

Хімія

Sodium metabisulfite in shrimp processing technology: prevention of melanosis and ecotoxicological risks

Maryna Ivanova, Oleksandr Makarenko
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. Sodium metabisulfite ($Na_2S_2O_5$) is one of the most common sulfur-containing compounds used in the food industry as an antioxidant and preservative. This substance is particularly important in the fish and shrimp industries, where it is used to prevent enzymatic darkening of the shell, known as melanosis.

Melanosis is the result of the activity of the enzyme polyphenol oxidase, which catalyzes the oxidation of phenolic compounds to melanin-like pigments. Sodium metabisulfite inhibits this process due to its ability to release sulfur dioxide (SO_2), which blocks the active centers of the enzyme and prevents the oxidation of substrates. However, the widespread use of this compound in seafood raises toxicological concerns due to its potential negative effects on human health and the environment.

Materials and methods. An analytical review of the current scientific literature on the use of sodium metabisulfite in aquaculture and food technology was conducted. The mechanisms of enzymatic darkening inhibition, the antimicrobial activity of sulfites, and the results of toxicological studies on the effect of the compound on living organisms were analyzed.

Results. It was found that sodium metabisulfite effectively inhibits the activity of the polyphenol oxidase enzyme, which prevents the formation of dark pigments in shrimp tissues. The mechanism of action is based on the chelation of copper ions, which are cofactors of the enzyme, as well as the reduction of oxidized phenolic compounds. In addition, sulfur dioxide exhibits pronounced antimicrobial properties. It is capable of penetrating the cell membranes of microorganisms and disrupting the functioning of enzymes by interacting with the sulfhydryl groups of proteins.

However, toxicological studies have shown that excessive use of sodium metabisulfite can cause oxidative stress in biological systems. DNA damage, increased lipid peroxidation, and genotoxic effects have been found in animal tissues. In aquatic ecosystems, this compound may be toxic to invertebrates. Studies of Cardisoma guanhumi land crab larvae have shown that early stages of development are highly sensitive to the effects of sodium metabisulfite. These data indicate the need for strict control of concentrations of this substance in food technology [1].

Conclusion. Sodium metabisulfite is an effective antioxidant and antimelanosis agent in shrimp processing technology, allowing to preserve the marketable appearance and quality of seafood. At the same time, its use is associated with potential toxicological risks, in particular genotoxicity and negative impact on aquatic ecosystems.

Further research should be aimed at developing alternative technologies for inhibiting melanosis and reducing sulfite concentrations in food products.

References.

1. J Jaya Supa Sooriya, N Malathi, Cicy Joseph and KS Vishvaksenan. *Sodium Metabisulfte as a Food Additive: Mechanisms of Action and Health Implications*. Journal of Nursing and Patient Health Care. 6, 2024.

Current Status and Prospects for the Toxicological Assessment of Sodium Erythorbate (E316)

Tetiana Pitsiva, Oleksandr Makarenko
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. Sodium erythorbate is a stereoisomer of sodium ascorbate and is considered an antioxidant, reducing agent, and oxygen scavenger. It is most widely used in the food industry, which naturally raises consumer concerns about its safety.

Materials and methods. An analytical review of the literature was conducted, and the toxicological characteristics and areas of application of sodium erythorbate—one of the important food additives—were examined.

Results. Sodium erythorbate (E316) is a well-known food additive that the Joint Expert Committee on Food Additives of the World Health Organization (WHO) does not consider harmful. An acceptable daily intake (ADI) of 6 mg/kg body weight has been established for sodium erythorbate (European Commission, 2001). The Australian National Health and Medical Research Council (NHMRC) does not specify a recommended daily intake (RDI).

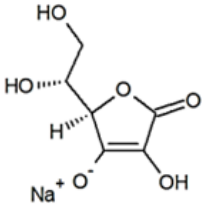


Figure 1. Structural formula of sodium erythorbate

Sodium erythorbate (Fig. 1) exhibits antioxidant properties only in aqueous solutions. Given the ability of sodium erythorbate to absorb oxygen, its entry into surface waters may lead to a short-term increase in the risk of aquatic toxicity. At the same time, the release of this substance into groundwater is unlikely to have a significant impact unless there is a rapid pathway for groundwater to discharge into surface waters. [1].

The U.S. Food and Drug Administration states that “the available information on sodium erythorbate does not provide evidence demonstrating or indicating sufficient grounds to suspect a hazard to the public when used at levels that are current or that can reasonably be expected in the future.” Thus, sodium erythorbate is classified as “Generally Recognized as Safe” (GRAS).

In addition to the food industry, food additive E316 is widely used as a stabilizer in chemical, electroplating, and enzymatic processes. It is used to protect metal surfaces from corrosion—for example, in the aviation industry—and enhances the stability of other antioxidants.

Conclusion. An analysis of current toxicological data confirms the safety of sodium erythorbate (E316) for consumers when the established ADI limits are observed, allowing it to be classified as GRAS. Future prospects for the use of this additive are linked not only to the food industry but also to its high effectiveness as a stabilizer and corrosion inhibitor in chemical and electroplating processes. At the same time, it is important to control its discharge into surface waters.

References.

1. Olivia Patterson, Sophie Wood *(2012)*, Fraccing Chemicals Assessment: Risk Assessment Addendum Report – Sodium Erythorbate. ERM Australia.

Limitations of Artificial Intelligence in Biogas Production Systems

Stanislav Usenko[1], Yevhenii Shapovalov[2], Julia Nosachova[1], Anatoly Salyuk[3]
1 - Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
2 - National Center "Junior Academy of sciences of Ukraine
3 - National University of Food Technology

Introduction. Machine learning (ML) algorithms have attracted considerable interest for modelling and optimisation of anaerobic digestion (AD) and biogas production. However, despite growing adoption, significant limitations hinder their practical deployment in industrial-scale biogas systems. This study aims to systematically identify and classify these limitations based on recent literature.

Materials and methods. A comparative analysis of four review articles published between 2022 and 2024 was conducted. The studies covered ML applications in biochar-enhanced AD [1], AI for biomass detection and bioenergy production [3], ML in municipal solid waste management [3], and ML methods for biogas production modelling [2]. Key limitations were extracted, categorised, and compared across different ML algorithms including ANN, SVM, ANFIS, fuzzy logic, genetic algorithms, and deep learning architectures (CNN, LSTM).

Results and discussion. The analysis revealed five principal limitation categories. [1]. Data scarcity and quality: most studies operate on small datasets, while ML models require substantial volumes of clean, problem-specific data. Waste-related data are managed by different stakeholders, making collection difficult. [2] Limited scalability: the majority of investigations have been restricted to laboratory-scale setups; very few attempts have been conducted at industrial scale, which limits the transferability of results. [3] Black-box nature: ANN and similar models lack interpretability, making it difficult to extract mechanistic knowledge necessary for process understanding and policy formulation. Algorithm-specific weaknesses: ANN is prone to overfitting and does not guarantee global optima; SVM performs poorly with large datasets and is sensitive to missing values; ANFIS is unsuitable for more than five input parameters; fuzzy logic accuracy depends heavily on expert-derived inference rules. Insufficient integration of biological parameters: critical variables such as mixed liquor volatile suspended solids (MLVSS) concentration are rarely incorporated as inputs, despite their importance for reflecting microbial activity in digesters. Hybrid approaches (GA-ANN, PSO-ANN) demonstrated improved prediction accuracy with R^2 up to 0.9986 compared to standalone algorithms, yet they increase computational complexity and processing time.

Conclusions. AI-based biogas modelling is still at an early developmental stage. Future research should focus on establishing open benchmark datasets, integrating ML with mechanistic models, incorporating microorganism-related parameters, and developing digital twin systems coupled with SCADA for real-time fault detection in industrial biogas plants.

References:

1. Zhang P., Zhang T., Zhang J. et al. *A machine learning assisted prediction of potential biochar and its applications in anaerobic digestion.* Carbon Neutrality. 2024. Vol. 3, No. 2. P. 1–21.

2. Shi Z., Ferrari G., Ai P., Marinello F., Pezzuolo A. *Artificial Intelligence for Biomass Detection, Production and Energy Usage in Rural Areas.* Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2023. Vol. 60. 103548.

3. Xia W., Jiang Y., Chen X., Zhao R. *Application of machine learning algorithms in municipal solid waste management: A mini review.* Waste Management & Research. 2022. Vol. 40, No. 6. P. 609–624.

Вплив β-глюканів на організм людини

Хорошун Андрій, Майборода Олена
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. β-глюкани є природними полісахаридами, що складаються з мономерів β-D-глюкози, з'єднаних β-глікозидними зв'язками різного типу. Вони входять до складу клітинних стінок бактерій, грибів, дріжджів, водоростей та деяких вищих рослин, зокрема злакових культур. Особливу увагу привертають грибні та дріжджові β-1,3/1,6-глюкани, що відрізняються просторовою організацією (триплетна спіраль) та високою біологічною активністю.

Матеріали та методи. Проаналізовано та вивчено сучасну інформацію, зокрема наукові статті щодо дозування, безпечності та фармакологічних взаємодій β-глюканів. Застосовано методи порівняльного узагальнення та біологічної інтерпретації результатів. Розглянуто клінічні та експериментальні дослідження щодо впливу β-глюканів на метаболізм, імунну, серцево-судинну та нервову системи людини.

Результати. Значною мірою біологічна активність β-глюканів визначається їх хімічною будовою. Найбільш активними є β-1,3-глюкани з β-1,6-бічними ланцюгами, характерні для грибів та дріжджів. У водному середовищі вони також здатні формувати триплетну спіраль, що забезпечує оптимальне розпізнавання імунними рецепторами. Функціональна активність зокрема тісно пов'язана не лише з типом глікозидних зв'язків, а й з молекулярною масою та ступенем розгалуження макромолекули. β-глюкани є резистентними до дії травних ферментів, що дозволяє їм досягати тонкого кишківника в незміненому вигляді, де вони захоплюються макрофагами через рецептор CLEC7A (dectin-1) та транспортуються до селезінки, лімфатичних вузлів і кісткового мозку, де запускають каскад імунних реакцій. Основний біологічний ефект β-глюканів пов'язаний зі стимуляцією механізмів вродженого імунітету, опосередкованою індукцією сигнальних шляхів NF-κB та MAPK, що призводить до посилення синтезу ключових імунорегуляторних цитокінів, зокрема TNF-α, IL-2, IL-6, IL-10 та IFN-γ. Наслідком є підвищення фагоцитарної активності макрофагів і нейтрофілів, активація NK-клітин та посилення антигенної презентації дендритними клітинами. Водночас β-глюкани проявлять виражені імуномодулюючі та протизапальні властивості, які реалізуються через зниження надмірної продукції прозапальних цитокінів, інгібування активності циклооксигенази-2 (COX-2) та індуцибельної NO-синтази (iNOS), а також нейтралізацію активних форм кисню. Під час пандемії полісахариди розглядалися як перспективні імунні модифікатори при вірусних інфекціях завдяки можливості зменшувати гіперзапалення та ризик цитокінового шторму, що є характерними для тяжкого перебігу COVID-19.

Висновки. β-глюкани здатні індукувати феномен "натренованого імунітету", який характеризується епігенетичною та метаболічною перебудовою моноцитів і макрофагів та зумовлює посилену неспецифічну відповідь на повторні інфекційні стимули. Наразі цей ефект розглядається як один із ключових механізмів довготривалої імунної резистентності, зокрема щодо вірусних та бактеріальних патогенів.

Література

1. Akramiene D., Kondrotas A. Effects of beta-glucans on the immune system. Medicina (Kaunas). 2007.43(8). pp.597-606. PubMed. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17895634/

Застосування AlphaFold для прогнозування структури промислово важливих ферментів.

Анатолій Пасько, Олена Майборода
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Ферменти відіграють ключову роль у сучасних прикладних біохімічних та інженерно-біологічних процесах, оскільки забезпечують перебіг великої кількості хімічних реакцій з високою швидкістю, селективністю та енергетичною ефективністю, що робить їх незамінними біокаталізаторами. Вони широко застосовуються в харчовій промисловості, фармацевтичному виробництві, біоенергетиці, хімічній і переробній промисловості, а також у природоохоронних та екологічних технологіях.

Матеріали та методи. Проведено аналіз сучасних наукових публікацій, присвячених застосуванню обчислювальних методів прогнозування структури білків у структурній біохімії, молекулярній біології та біоінформатиці. Особливу увагу приділено можливостям інструменту штучного інтелекту AlphaFold, який був навчений із використанням експериментально визначених структур білків з бази Protein Data Bank (PDB), а також кластеризованих білкових послідовностей бази UniRef90, що включає понад 200 млн амінокислотних послідовностей. [1]

Результати. Встановлено, що AlphaFold демонструє високу точність прогнозування тривимірної структури білків і дозволяє отримувати надійні структурні моделі ферментів без проведення тривалих та дорогих експериментальних досліджень. Даний підхід широко застосовується для прогнозування структури промислово важливих ферментів, зокрема целюлаз, протеаз, ліпаз і амілаз, які мають ключове значення для харчової, фармацевтичної та енергетичної галузей. Використання цього методу забезпечує швидкий комп'ютерний скринінг тисяч варіантів білкових послідовностей, що дозволяє істотно скоротити обсяг лабораторних експериментів на ранніх етапах досліджень і зосередитися на найбільш перспективних представниках. Отримані структурні моделі дозволяють ідентифікувати активні центри, функціонально важливі амінокислотні залишки, а також потенційні ділянки для цілеспрямованого мутагенезу й оптимізації білкової структури. Це створює наукову основу для раціонального дизайну ферментів із підвищеною термостабільністю, оптимізованими каталітичними властивостями та адаптацією до екстремальних умов виробничих процесів, зокрема високих температур, екстремальних значень pH, підвищеного тиску або наявності інгібуючих домішок.[2].

Висновки. Застосування AlphaFold суттєво змінює сучасні підходи до дослідження, аналізу та конструювання промислових ферментів, значно прискорюючи процес їхнього раціонального дизайну і скорочуючи шлях від створення дослідного зразка до впровадження у серійне виробництво лікарських, фармацевтичних та інших функціональних продуктів. Точність прогнозування структури білків може досягати близько 90 %, що дозволяє ефективно оптимізувати ферменти для процесів біокаталізу, виробництва біопалива та біоремедіації. Загалом використання даного підходу забезпечує економію часу на рівні 50–90 %, зниження фінансових витрат та підвищення ефективності науково-дослідних і прикладних розробок.

Література.

1. Jumper J., Evans R., Pritzel A. et al. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. Nature. 2021. Vol. 596. P. 583–589.-Режим доступу: https://www.nature.com/articles/s41586-021-03819-2

2. Torrisi M., Pollastri G., Le Q. Deep learning methods in protein structure prediction. Computational and Structural Biotechnology Journal. 2020. Vol. 18. P. 1301–1310.

Визначення вмісту каротиноїдів в апельсиновому соку різних виробників

Михайло Глабець[1], Лілія Сошальська[1], Олена Майборода[2]
1 - Ліцей №30 «ЕКОНАД», Київ, Україна
2 - Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Апельсини та апельсинові соки традиційно сприймаються як корисні продукти. Їх позитивний вплив на організм визначається комплексом природних біологічно активних речовин: вітамінів, каротиноїдів, мінералів, органічних кислот. У свіжих апельсинах та фреші присутні також ферменти, які при пастеризації інактивуються. Провідне місце серед БАР посідають каротиноїди пігменти рослинного походження, які обумовлюють не лише характерне жовто-помаранчеве забарвлення плодів, але й їхню антиоксидантну активність, участь у підтриманні зорової функції, захисті клітинних мембран від пошкоджень та нормальному функціонуванні шкіряних і репродуктивних систем.

Матеріали і методи. Для дослідження були взяті 5 видів апельсинових соків різних виробників і свіжовіджатий сік. Визначення каротиноїдів у зразках проводили спектрофотометричним методом, який базується на екстракції каротиноїдів з проби соку неполярним органічним розчинником, подальшому вимірюванні оптичної густини отриманого розчину за допомогою спектрофотометра КФК-2 при довжині хвилі 440-450нм та розрахунку концентрації використовуючи відомий питомий показник поглинання.

Результати. За хімічною будовою каротиноїди належать до ізопреноїдів і поділяються на дві основні групи: каротини та ксантофіли, останні містять гідроксильні або епоксидні групи. Основні каротиноїди апельсинів це β-криптоксантин, β-каротин, лютеїн та зеаксантин.

Для аналізу відбирали точний об’єм проби соку та додавали гексан, інтенсивно перемішували для забезпечення повного переходу каротиноїдів у неполярну фазу. Для розділення фаз суміш залишали відстоятися. Гексановий шар з екстрагованими каротиноїдами відокремлювали за допомогою ділильної лійки. Процедуру екстракції повторювали кілька разів до повного вилучення пігментів, про що свідчило знебарвлення екстракту. Об’єднані екстракти осушували безводним сульфатом магнію протягом 15 хв. Отриманий екстракт використовували для спектрофотометричного аналізу. Оптична густина досліджуваного розчину перебувала в межах 0,1–0,9. Кількісне визначення сумарного вмісту каротиноїдів у досліджуваних зразках апельсинових соків здійснювали на основі закону Бугера–Ламберта–Бера з використанням питомого коефіцієнта поглинання β-криптоксантину, який є основним каротиноїдом апельсинів. Результати дослідження показали, що найвищий вміст каротиноїдів серед досліджених соків виявлено у фреші - 0,34мг/100г потім у соку ТМ Grand (0,21 мг/100 г). Найнижчий вміст у ТМ Cido - 0,06мг/100г продукту.

Висновки. Апельсини та апельсинові соки належать до харчових джерел каротиноїдів, зокрема β-криптоксантину, β-каротину, лютеїну та зеаксантину, вміст яких залежить від сорту плодів, ступеня зрілості, умов вирощування, технології переробки та зберігання продукції. Каротиноїди чутливі до дії світла, нагрівання, окиснення тому термічна обробка знижує масову концентрацію їх у промислових соках. Каротиноїди важливі БАР, що мають істотне значення для харчування і фізіології людини та якості харчових продуктів.

Кількісне визначення поліфенолів у зразках меду різного ботанічного походження

Аліна Попова[1], Олена Сергєєва[1], Віра Іщенко[2]
1 - Ліцей №33, Київ, Україна
2 - Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Унікальні терапевтичні властивості меду - антибактеріальні, протизапальні та антиоксидантні - зумовлюють його широке застосування як загальнозміцнювального засобу. Ключову роль у реалізації біологічного потенціалу меду відіграють фенольні сполуки, кількісний та якісний склад яких визначає його антиоксидантну активність. У зв'язку з цим, визначення вмісту поліфенолів у вітчизняних медах різних ботанічних сортів є актуальним завданням для наукового обґрунтування їхньої якості, біологічної цінності та підтвердження автентичності продукту.

Матеріали і методи. Для дослідження були відібрані 7 зразків меду різного ботанічного походження 2024-25 років збору. Серед зразків були традиційні українські меди – акацієвий, липовий, соняшниковий та гречаний, а також досить нові – ріпаковий та амарантовий. Всі зразки були монофлорні. Визначення поліфенолів у зразках проводили спектрофотометричним методом Фоліна-Чокальтеу, який ґрунтується на окисненні фенолів за допомогою фосфоровольфрамової та фосфоромолібденової кислот у лужному середовищі, що призводить до утворення забарвленого у синій колір розчину, оптична густина якого вимірюється при 750 нм, при цьому інтенсивність синього кольору корелює з кількісним вмістом фенолів у зразках меду. Вимірювання проводили на фотоелектрокалориметрі КФК-2.

Результати. Метод Фоліна-Чокальтеу передбачає побудову калібрувального графіка, за яким знаходитися загальна концентрація поліфенолів у досліджуваних зразках меду. В якості стандарту, по якому визначали вміст поліфенолів, була галова кислота. Для побудови калібрувального графіка готували серію семи стандартних розчинів різних концентрацій галової кислоти. До семи колб на 50 мл вносили 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0 мл стандартного розчину галової кислоти з концентрацією 100 мг/л. Після чого додавали 25 мл дистильованої води, 4,0 мл реактиву Фоліна-Чокальтеу, 6,0 мл 20%-вого розчину Na2CO3. Ретельно перемішували і через 2,5 години вимірювали світлопоглинання. Паралельно готували зразки меду для визначення поліфенолів. В мірній склянці відважували на лабораторних вагах 5 грамів меду, розчиняли в 10 мл дистильованої води, фільтрували та кількісно переносили в колбу на 25 мл і доводили до мітки дистильованою водою. Подальші процедури були такі ж як із розчином галової кислоти. Результати дослідження показали, що найбільший вміст поліфенолів мали гречаний мед - 776 мг/кг та амарантовий мед - 589 мг/кг; менший вміст поліфенолів був у акацієвому меді - 516 мг/кг; липовий та соняшниковий мед мали значення 402 і 417 мг/кг відповідно. Було також встановлено, що липовий мед 2024 та 2025 років збору мав однаковий вміст поліфенолів. Найнижчий вміст поліфенолів виявлено у ріпаковаму меді - 387 мг/кг.

Висновки. Загальний вміст фенольних речовин в досліджених медах України в цілому відповідає значенням, описаним для медів інших країн, а іноді і перевищує їх. Високий вміст фенолів у гречаному та амарантовому меді корелює із їх кольором – темніші меди виявилися багатші на поліфеноли.

Порівняння хімічного та інструментального методів визначення вмісту йонного кальцію в різних видах молока

Богдан Гудзенко[1], Лілія Козлова[1], Віра Іщенко[2]
1- Середня загальноосвітня школа №215, Київ, Україна
2 - Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Поряд із визначенням загального вмісту кальцію у молоці, передбаченого ДСТУ ISO 8070/IDF 119:2008, особливий науковий інтерес викликає моніторинг його йонної форми. Оскільки динамічна рівновага між зв'язаним (колоїдним) та вільним кальцієм суттєво зміщується внаслідок пастеризації чи стерилізації, концентрація Ca2+ може слугувати маркером теплової деградації складників молока. У даній роботі проведено порівняльну характеристику класичних хімічних (комплексонометрія) та сучасних інструментальних методів (іонометрія) з метою виявлення найбільш прецизійного підходу до оцінки якості різних видів молочної продукції.

Матеріали і методи. Для дослідження було обрано чотири комерційних зразків молока відомих українських виробників молочної продукції, які відрізнялись способом термічної обробки, два зразки молока від приватних виробників та один зразок виготовленого молочного продукту із сухого молока. Вміст йонного кальцію у зразках молока, які були взяті для аналізу, визначали методом прямого комплексонометричного титрування ЕДТА. Паралельно концентрацію йонного кальцію визначали на pH-метрі/йономірі pH-150MI з роздільною здатністю 1 мВ. Електродна комірка складалась із мембранного кальцій-селективного електроду ЕЛІС-121Ca та Ag|AgCl електроду порівняння ECp-10101.

Результати. Концентрації кальцію, виміряну методом іонометрії, знаходили за калібрувальним графіком, що охоплював концентрації від 0,1 до 100 ммоль/л кальцію. Перед відбиранням аліквот на аналіз, зразки молока перемішували впродовж 5 хв ручним перемішуванням. Йонну силу розчинів підтримували сталою, додаючи у проби і калібрувальні зразки буфер (розчин калій хлориду) для підтримання сталої йонної сили. Найвищий вміст йонного кальцію, виміряний методом з використанням іонселективного електроду, був у натуральному незбираному молоці: в середньому 300 мг/л, у пастеризованому молоці близько 120 мг/л, менший вміст у ультрапастеризованому молоці – 100 мг/л і найнижчий вміст йонів кальцію Ca^{2+} був у виготовленому із сухого молока молочному напої – 90 мг/л. Визначення йонів кальцію у тих же зразках молока, проводили також методом комплексонометричного титруванням ЕДТА. Для визначення точки еквівалентності використали металохромний індикатор мурексид у лужному середовищі (pH=10–12). Проводили три паралельні титрування до зміни забарвлення з рожевого на бузкове. Проте метод комплексонометричного титрування дав завищені на 5-7% результати в порівнянні з потенціометричним аналізом. Це пояснюється як складністю фіксації точки еквівалентності, так і можливим заважаючим впливом йонів магнію Mg^{2+}.

Висновки. Проведені дослідження по визначенню концентрації йонного кальцію Ca^{2+} в молоці як потенціометричним методом, так і методом комплексонометричного титрування ЕДТА показали, що при термічній обробці молока змінюється концентрація кальцію, який знаходиться у молоці в йонному стані. Потенціометричний метод із використанням йонселективного електроду є більш експресним та надійним для аналізу молочної продукції.

Фармакологічна селективність β-блокаторів

Олександра Журавкова, Інна Попова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Селективність β-адреноблокаторів до підтипів β-рецепторів визначає їх фармакологічні ефекти та клінічну безпеку у терапії серцево-судинних захворювань (ССЗ). Метою роботи є узагальнення даних сучасної літератури щодо рецепторної селективності β-адреноблокаторів та її ролі у фармакотерапії ССЗ.

Матеріали та методи. Для підготовки тез використано оглядові статті, опубліковані протягом останніх років та присвячені фармакологічній характеристиці β-адреноблокаторів, зокрема приділено увагу питанням їх селективності, фармакодинамічної афінності до β_1- та β_2-рецепторів, а також клінічного значення.

Результати. β-Адреноблокатори є класом препаратів, що взаємодіють з β-адренорецепторами і застосовуються при артеріальній гіпертензії, ішемічній хворобі серця та інших ССЗ [1; 3]. Залежно від афінності до рецепторів, β-блокатори поділяються на селективні і неселективні: селективні β_1-блокатори пригнічують активність β_1-рецепторів серця, тоді як неселективні препарати блокують як β_1-, так і β_2-рецептори [1; 3].

Селективність до β-рецепторів має важливе клінічне значення з точки зору зниження ризику побічних ефектів, пов'язаних з β_2-блокадою, таких як бронхоспазми або порушення периферичного кровообігу [2; 3]. Це зумовлює ефективність β_1-селективних блокаторів для пацієнтів із порушеннями кровообігу в периферичних судинах та супутніми бронхолегеневими захворюваннями [2; 3].

Варто зазначити, що навіть β1-селективні блокатори не є абсолютно специфічними: при високих концентраціях вони можуть проявляти блокуючу активність і щодо β_2-рецепторів [3]. Крім того, різні β-блокатори відрізняються за ступенем селективності, що має значення під час індивідуального підбору терапії [3].

Таким чином, рецепторна селективність β-адреноблокаторів визначає їх фармакологічну дію, профіль побічних ефектів та клінічну придатність для конкретних груп пацієнтів.

Висновки. Селективність β-адреноблокаторів визначається їхньою афінністю до підтипів β-адренорецепторів. Підвищена β_1

-селективність може бути пов'язана з покращенням терапевтичного профілю та зменшенням побічних ефектів, що робить препарати такого роду важливими для безпечної серцево-судинної терапії.

Література.

1. M. Perrett, N. Gohil, O. Tica, K. V. Bunting, D. Kotecha. *Efficacy and safety of intravenous beta-blockers in acute atrial fibrillation and flutter is dependent on beta-1 selectivity: a systematic review and meta-analysis of random trials. Clinical Research in Cardiology,* 113, pp. 831-841. 2024. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s00392-023-02295-0

2. H.-P. Marti, A. A. Pavía López, P. Schwartzmann. *Safety and tolerability of b-blockers: importance of cardioselectivity. Current Medical Research and Opinion,* 40(S1), pp. 55-62. 2024. URL: https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/03007995.2024.2317433

3. S. Taddei, N. Tsabedze, R.-S. Tan. *β-blockers are not all the same: pharmacologic similarities and differences, potential combinations and clinical implications.* Current Medical Research and Opinion, 40(S1), pp. 15-23. 2024. URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03007995.2024.2318058

Сучасні неруйнівні методи оцінки м'яса та жиру

Євгенія Тимошенко, Інна Попова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Зростання попиту споживачів на високоякісні та безпечні м'ясні продукти зумовлює необхідність удосконалення методів оцінки складу туш і якості м'яса та жиру. Традиційні способи контролю є трудомісткими, дорогими та часто інвазивними, що обмежує їх застосування в умовах сучасного виробництва. Сучасні підходи до оцінки складу туш базуються на використанні рентгенівських, ультразвукових, електрофізичних та спектроскопічних методів.

Матеріали та методи. У роботі проаналізовано сучасні неруйнівні сенсорні технології для прогнозування складу туш і оцінки якості м'яса та жиру: комп'ютерну томографію (КТ) та двоенергетичну рентгенівську абсорбціометрію (DXA), ультразвукові методи , біоелектричний імпедансний аналіз (BIA), бінфрачервону спектроскопію (NIRS) та гіперспектральне зображення (HSI).

Результати. Традиційні методи оцінки якості є трудомісткими, дорогими та інвазивними і можуть негативно впливати на навколишнє середовище. Дослідження в цій галузі швидко просуваються завдяки останнім досягненням у сферах портативності, точності та машинного навчання. Тому в цьому огляді критично оцінюються та узагальнюються розробки популярних неінвазивних технологій (тобто від технологій візуалізації до спектроскопічних сенсорних технологій) для оцінки складу та якості яловичини, свинини та баранини.

Основний принцип BIA полягає у введенні змінного струму через тіло (жирові та м'язові тканини) з одночасним вимірюванням електричного опору. Технологія BIA використовувалася для прогнозування вмісту м'яса та жиру в тушах ягнят з високою точністю. Багаточастотні вимірювання імпедансу мали значну кореляцію з вмістом вологи, жиру та білка в яловичині. Прогнозованість BIA була відносно високою для вмісту внутрішньом'язового жиру та низькою до помірної для вмісту колагену та значення сили зсуву.

NIRS — це чутлива, швидка, неруйнівна, економічно ефективна та екологічно чиста технологія. Останнім часом NIRS використовується для прогнозування вмісту хімічних компонентів у незмінених зразках м'яса. Повідомляється про успішне прогнозування вмісту внутрішньом'язового жиру (IMF) в інтактній яловичині. У свинині виявлено високу кореляцію між спектрами NIR та вмістом IMF, білка і вологи. NIRS також використовується для оцінки складу жирних кислот і йодного числа в підшкірному жирі свинини. Ефективність прогнозування покращилася при застосуванні регресії на основі машинного навчання з підтримкою векторних машин у порівнянні з регресією часткових найменших квадратів.

Висновки. Використання методів машинного навчання значно підвищує точність прогнозування показників якості. Загалом сучасні сенсорні технології мають високий потенціал для впровадження в умовах комерційного виробництва.

Література.

1. Connaughton, S. L., A. Williams, F. Anderson, K. R. Kelman, J.Peterse, and G. E. Gardner. 2020b. *Dual energy X-ray absorptiometry predicts lamb carcass composition at abattoir chain speed with high repeatability across varying processing factors.* Meat Sci. 181:108413. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108413.

Сорбенти у військовій аптечці

Катерина Раковець, Інна Попова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Під час війни багато військових опиняються в умовах, де немає доступу до чистої питної води, внаслідок чого це може призвести до гострих інфекційних захворюваннь, зокрема: холера, сальмонельоз, ешеріхіоз.

Матеріали і методи. Метою мого дослідження є аналіз літературних джерел для порівняння різних видів сорбентів для виявлення найбільш оптимального з них. Було досліджено: “Активоване вугілля”, “Ентеросгель”, “Атоксіл”, “Біле активоване вугілля”.

Результати. Сорбенти – речовини, які за рахунок своєї хімічної будови зв'язують, нейтралізують та виводять різні шкідливі речовини з організму. Їх основна функція полягає в поглинанні або приєднанні цих небажаних компонентів, що дозволяє організму ефективніше їх вивести.

Активоване вугілля - це вугілля, який використовується для передового очищення питної води. Воно добре абсорбує ряд забруднень у воді, покращує її органолептичні властивості. Видаляє неприємні запахи, з'єднання хлору, каламутність, надає приємного смаку. Через наявність множинних пор, губчата структура надає активованому вугіллю велику площу поверхні для зв’язування з іншими речовинами. Активоване вугілля виводить токсини з організму. Однак, цей процес не завжди безпечний. Його головними недоліками є: видалення корисних речовин з організму, а також підвищена чутливість у деяких людей до компонентів препарату.

Ентеросгель – це ефективний ентеросорбент на основі органічного Сіліцію, який має селективну активність сорбції. Завдяки своїй пористій структурі він зв'язує та виводить лише токсичні речовини, не порушуючи всмоктування вітамінів. й мінералів. Але, не зважаючи на це, ентеросгель може викликати закрепи.

Атоксіл – ентеросорбент з вираженими сорбційними властивостями, проявляє дезінтоксикаційну, протимікробну та ранозагоювальну дію. Адсорбує з травного тракту і виводить з організму ендогенні та екзогенні токсичні речовини різного походження, у тому числі харчові та бактеріальні алергени, мікробні ендотоксини та інші отруйні речовини, токсичні продукти, що утворюються у процесі гниття білків у кишечнику. Атоксіл застосовується не лише для лікування отруєння, також може бути використаний у лікуванні гнійних ран та опіків. Мінусами даного сорбенту є те, що він може спровокувати виразки та ерозії кишковика.

Біле Вугілля — ентеросорбент, активною речовиною якого є кремнію діоксид. Висока дисперсність кремнію діоксиду забезпечує велику активну поверхню сорбції і, отже, сорбційну ємність препарату. Непориста структура частинок Сіліцій діоксиду забезпечує високу швидкість сорбції. Відсутність пор також пояснює слабку сорбцію низькомолекулярних сполук, зокрема мінеральних речовин і вітамінів. Застосування препарату біле вугілля не рекомендується при гіперчутливості до його діючої речовини та допоміжних складових, а також при загостренні виразки шлунка та дванадцятипалої кишки, наявності виразок та ерозій на слизовій оболонці кишечнику, кишкових кровотечах та непрохідності кишечника.

Висновки. Отже, найбільш оптимальними сорбентами є активоване вугілля, за допомогою якого можна очистити воду у польових умовах, а також “Ентеросгель”, який можна вживати без води.

Поліморфізм і розчинність лікарських субстанцій

Аліна Чепурда, Інна Попова
Національний університет харчових технологій, Київ. Україна

Вступ. Дослідження поліморфних форм лікарських субстанцій на їх розчинність та потенційну біодоступність із застосуванням сучасних фізико-хімічних методів аналізу займає одну з чільних позицій у процесі створення лікарських препаратів та, власне, фармацевтичної розробки лікарської форми. Станом на сьогоднішній день явище поліморфізму виявлено для більше ніж 85 % фармацевтичних субстанцій і процес відповідних розвідок триває.

Матеріали і методи. Проаналізовано методи рентгенівської порошкової дифракції та диференціальної сканувальної калориметрії. Розчинність визначали у водному середовищі при 37°C із використанням спектрофотометричного аналізу.

Результати. Поліморфізм лікарських речовин є одним із визначальних чинників, що впливають на їх фізико-хімічні характеристики та фармакологічну ефективність. Під поліморфізмом розуміють здатність однієї хімічної сполуки утворювати декілька різних кристалічних форм, які відрізняються особливостями просторового розташування молекул у кристалічній ґратці. Незважаючи на ідентичний хімічний склад, різні поліморфні модифікації можуть істотно відрізнятися за розчинністю, швидкістю розчинення, температурою плавлення, щільністю, стабільністю та рівнем біодоступності. Розчинність є ключовою характеристикою лікарських субстанцій, оскільки саме вона визначає швидкість і повноту всмоктування активної речовини в організмі. Зазвичай метастабільні поліморфні форми мають вищу розчинність порівняно з термодинамічно стабільними формами, що пояснюється їх більшою внутрішньою енергією. Водночас такі форми здатні трансформуватися у стабільніші модифікації під впливом зовнішніх чинників, зокрема температури, вологості або механічного навантаження під час виробництва. У фармацевтичній технології особливу увагу приділяють впливу тиску під час таблетування методом пресування, оскільки він може спричиняти фазові переходи між поліморфними формами. Це безпосередньо впливає на стабільність та біофармацевтичні показники лікарського препарату. Експериментально встановлено, що метастабільна форма характеризується підвищеною швидкістю розчинення та на 28% більшою рівноважною розчинністю порівняно зі стабільною модифікацією. Температура плавлення стабільної форми була на 12°C вищою, що підтверджує її більшу термодинамічну стійкість. Під час зберігання зразків при температурі 25°C протягом 30 діб спостерігався частковий перехід метастабільної форми у стабільну, що супроводжувалося зниженням розчинності на 18%. Такі зміни свідчать про динамічний характер поліморфних перетворень і їх безпосередній вплив на фармацевтичні властивості субстанції.

Висновки. Отже, поліморфізм безпосередньо впливає на розчинність і, відповідно, на біодоступність лікарських субстанцій. Глибоке розуміння взаємозв'язку між кристалічною структурою та розчинністю є необхідним для забезпечення ефективності, безпеки та стабільності лікарських препаратів.

Література.

1. Zhang Y., Liu X., Wang J. *Recent advances in pharmaceutical polymorphism research*. International Journal of Pharmaceutics. 2024. Vol. 643. 123456.

2. European Medicines Agency. *Guideline on the chemistry of active substances (revision 2023).* EMA, 2023.

Prodrug-стратегія у створенні ліків

Аліна Чепурда, Інна Попова
Національний університет харчових технологій, Київ. Україна

Вступ. Prodrug-стратегія є сучасним підходом у фармацевтичній хімії, що передбачає створення фармакологічно неактивних або малоактивних сполук, які після введення в організм перетворюються на активний лікарський агент.

Матеріали і методи. Проведено аналіз наукових джерел, присвячених розробці та застосуванню проліків у сучасній фармакотерапії, з метою узагальнення їхніх переваг та механізмів біотрансформації.

Результати. Проліки можуть посилювати дермальну/трансдермальну доставку ліків за допомогою різних механізмів, включаючи збільшення розподілу через шкіру, збільшення розчинності у воді та зменшення кристалізації тощо. Окрім самих проліків, важлива також оптимізація носія. Розподіл проліків між шкірою та носієм, а також взаємодія проліків з носієм можуть впливати на ефективність посилення проникнення через шкіру. Стратегії покращення пероральної біодоступності та досягнення пухлинно-специфічного таргетування були найважливішими розробками в розробці проліків протягом останніх 5 років.

Prodrug-підхід застосовується для вирішення кількох фармацевтичних проблем: підвищення водорозчинності або ліпофільності сполук, покращення абсорбції в шлунково-кишковому тракті, забезпечення кращого проникнення через гематоенцефалічний бар'єр,зменшення місцевої подразнювальної дії,зниження системної токсичності,пролонгація дії препарату. Prodrug-підхід дозволяє покращити розчинність, біодоступність, стабільність та проникнення лікарських речовин через біологічні бар'єри. Особливо ефективним він є для сполук із низькою водорозчинністю або вираженою токсичністю. Після потрапляння в організм проліки піддаються ферментативним або хімічним перетворенням з утворенням активної форми препарату. Класичним прикладом є Еналаприл, який у печінці гідролізується до активного метаболіту — еналаприлату. Іншим прикладом є Валацикловір, що перетворюється на ацикловір і застосовується для лікування вірусних інфекцій.
Використання проліків також сприяє зниженню побічних ефектів, підвищенню селективності дії та зручності застосування препаратів. Такий підхід спрямований на оптимізацію фармакокінетичних і фармакодинамічних властивостей лікарських засобів. Фітофеноли мають ряд переваг при використанні як проліків, оскільки вони також мають антиоксидантні та знеболювальні властивості, їх отримують природним шляхом, а їхній профіль безпеки добре вивчений. Кілька фітофенолів, такі як ментол, тимол, евгенол, гваякол, сезамол, ванілін та умбеліферон, є деякими з фітофенолів, що мають ряд корисних властивостей і широко використовуються в галузі харчової промисловості та медицини

Висновки. Prodrug-стратегія є перспективним напрямом у створенні лікарських засобів, оскільки забезпечує підвищення ефективності та безпеки фармакотерапії. Її застосування дозволяє оптимізувати властивості діючих речовин і розширити можливості їх клінічного використання.

Література.

1. Valentin J. Stella, Ronald T. Borchardt, Michael J. Hageman, Rama Oliyai, Hiroshi Maag, John W. Tilley (eds.). *Prodrugs: Challenges and Rewards*. Springer, 2007.

Вплив звукових коливань різної частоти на нейрохімічні процеси в організмі людини

Максим Величко, Інна Попова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Нейрохімія як міждисциплінарна галузь досліджує молекулярні механізми функціонування нервової системи, зокрема регуляцію синтезу нейромедіаторів, гормонів і ферментативних процесів. Акустичні стимули після сприйняття рецепторами внутрішнього вуха трансформуються в електрохімічні імпульси, що активують структури центральної нервової системи. Це супроводжується змінами концентрацій біологічно активних речовин, які безпосередньо впливають на перебіг хімічних реакцій в організмі.

Матеріали і методи. Проведено аналітичний огляд сучасних наукових джерел у галузі нейрохімії, фізіології та біофізики. Проаналізовано експериментальні дані щодо впливу звукових стимулів різної частоти (20–250 Гц; 250–4000 Гц; >4000 Гц) на:

- рівень нейромедіаторів
- гормональний статус
- інтенсивність окисно-відновних процесів
- активність ферментативних систем

Результати. Модуляція нейромедіаторного синтезу. Гармонійні звукові стимули асоціюються з підвищенням рівня дофаміну ($C_8H_{11}NO_2$), серотоніну ($C_{10}H_{12}N_2O$) та ендорфінів. Дофамін синтезується з тирозину шляхом послідовних ферментативних реакцій:

тирозин → L-DOPA → дофамін.

Зміна нейрональної активності під впливом звуку може модулювати активність тирозингідроксилази — ключового ферменту цієї реакції, що впливає на швидкість синтезу нейромедіатора. Таким чином, акустичні стимули опосередковано змінюють швидкість біохімічних перетворень у синапсах.

Інтенсивний шум активує гіпоталамо-гіпофізарно-наднирникову систему, що призводить до підвищення секреції кортизолу. Кортизол стимулює глюконеогенез у печінці, активує розпад білків та впливає на метаболізм ліпідів. На хімічному рівні це супроводжується зміною швидкості ферментативних реакцій та перерозподілом енергетичних ресурсів клітини. Низькочастотні ритмічні звуки можуть сприяти зниженню рівня стрес-індукованого утворення активних форм кисню (ROS). Це відображається у зменшенні інтенсивності перекисного окиснення ліпідів та стабілізації клітинних мембран. Звукові коливання впливають на активність іонних каналів Ca^{2+}, Na^+ та K^+. Зміна концентрації кальцію в цитоплазмі є тригером для активації численних ферментів та сигнальних каскадів, що безпосередньо впливають на перебіг внутрішньоклітинних хімічних реакцій.

Висновки. Звукові коливання різної частоти здатні модулювати нейрохімічні процеси через зміну синтезу нейромедіаторів і гормонів. Гармонійні звуки сприяють активації дофамінергічної та серотонінергічної систем, тоді як інтенсивний шум активує стрес-реакції. Акустичний вплив може змінювати інтенсивність окисно-відновних реакцій і ферментативної активності.

Література.

1. Bear M., Connors B., Paradiso M. *Neuroscience: Exploring the Brain.* Philadelphia: Wolters Kluwer, 2020.
2. Caplan LR, Pessin MS (Eds.). *Neurology.* McGraw-Hill Education; 2024. URL: https://neurology.mhmedical.com/book.aspx?bookID=3024

Хімічні стратегії подолання антибіотикорезистентності

Вероніка Колчева, Інна Попова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Антибіотикорезистентність є однією з найсерйозніших проблем сучасної медицини, оскільки поширення стійких до антибактеріальних препаратів мікроорганізмів знижує ефективність лікування інфекційних захворюваньУ зв'язку з цим важливим напрямом фармацевтичної хімії є пошук нових підходів до підвищення ефективності антибактеріальних препаратів і подолання механізмів бактеріальної стійкості.

Матеріали і методи. У роботі проведено аналіз сучасних наукових публікацій, присвячених проблемі антибіотикорезистентності та шляхам її подолання. Джерелами інформації стали наукові статті й оглядові дослідження, опубліковані у міжнародних наукометричних базах даних. Під час дослідження застосовано методи аналізу, узагальнення та систематизації наукової літератури щодо хімічної модифікації антибіотиків, використання інгібіторів ферментів бактеріальної резистентності та створення комбінованих антибактеріальних препаратів.

Результати. Аналіз літературних джерел показав, що одним із найефективніших підходів до подолання антибіотикорезистентності є хімічна модифікація структури відомих антибіотиків. Зміна функціональних груп у молекулі підвищує її стійкість до дії бактеріальних ферментів і покращує фармакокінетичні властивості. Наприклад, модифікація природних пеніцилінів дала змогу створити напівсинтетичні антибіотики, зокрема амоксицилін, який характеризується ширшим спектром дії та кращою біодоступністю. Важливою причиною втрати активності β-лактамних антибіотиків є синтез бактеріями ферментів β-лактамаз, які руйнують β-лактамне кільце антибіотика. Для подолання цього механізму застосовують інгібітори β-лактамаз, що блокують дію відповідних ферментів. Прикладом є клавуланова кислота, яка у комбінації з амоксициліном запобігає ферментативному руйнуванню антибіотика та відновлює його антибактеріальну активність щодо резистентних штамів бактерій. Ще одним перспективним напрямом є створення антибактеріальних сполук з новими механізмами дії. Сучасні дослідження спрямовані на пошук молекул, здатних інгібувати ефлюксні насоси бактерій, які забезпечують активне виведення антибіотиків із клітини. Блокування цих транспортних систем сприяє підвищенню внутрішньоклітинної концентрації препарату та відновленню його антимікробної активності. Окрім цього, важливе значення має розробка комбінованих лікарських засобів, що поєднують антибіотик із речовинами, які пригнічують механізми резистентності. Такий підхід дає змогу одночасно впливати на кілька ланок життєдіяльності бактерій і зменшує ризик формування стійких штамів.

Висновки. Поширення антибіотикорезистентності потребує розробки нових підходів до створення антибактеріальних препаратів. Хімічна модифікація молекул антибіотиків, використання інгібіторів ферментів бактеріальної стійкості та створення комбінованих лікарських засобів є перспективними стратегіями підвищення ефективності антибактеріальної терапії. Подальший розвиток цих напрямів фармацевтичної хімії сприятиме створенню нових препаратів, здатних ефективно протидіяти резистентним мікроорганізмам.

Література.

1. Ahmed S., Ahmed M. Z., Rafique S., Almasoudi S. E., Shah M., Jalil N. A. C., Ojha S. C. (2023). *Recent Approaches for Downplaying Antibiotic Resistance: Molecular Mechanisms.* Journal of Chemistry. https://doi.org/10.1155/2023/5250040

Хімія імідазолів та їх бензоаналогів

Марія Соколова, Сергій Шульга
Національний університет харових технологій, м. Київ, Україна

Вступ. Хімія всіх сполук, які містять ядро, що складається з групування -N-CH-N- і двох атомів Карбону можна об'єднати під загальною назвою – імідазоли. Родоначальною сполукою цього класу є імідазол. Імідазоли та їх бензоаналоги є найбільш поширеними і добре вивченим класом органічних сполук. Вони мають особливе значення завдяки своїй доступності і легкості з якою вони можуть бути перетворені в інші гетероциклічні системи. Імідазоли та їх похідні володіють багатьма властивостями, характерними для ароматичних амінів, що підтверджує ароматичність імідазольного кільця.

Матеріали і методи. Методи синтезу імідазолів з таутомерною природою ядра імідазолу, з орієнтуючим впливом замісників подібно бензольному кільцю.

Результати і обговорення. Імідазол був вперше отриманий Дебу із гліоксалю і аміаку. На основі аналізу способу добування встановлено, що найбільш придатною структурою для імідазолу є система п'ятичленного кільця з двома атомами азоту незв'язаних між собою. Бруто-формула імідазолу передбачає наявність в молекулі двох подвійних зв'язків. Молекули імідазолу асоційовані оскільки температура кипіння імідазолу 256°С, що значно вище температури кипіння N-метилімідазолу 198°С, що вказує на утворення водневих зв'язків.

Імідазоли і алкилімідазоли є більш слабими основами порівняно з амоніаком, але більш основними ніж піридин. Вони утворюють солі з сильними та середніми кислотами (азотною, соляною, саліциловою тощо). Здатність імідазолів утворювати комплексні сполуки, можливо, відіграє суттєву роль в біологічній активності цих речовин в яких є імідазольне кільце. Легко відбувається алкілування в положенні один під час дії галоїдних алкілів. В реакціях окиснення імідазоли ведуть себе не звичайно: сильні кислоти досить складно окислюють імідазольне кільце, а окиснювачі перекисного типу легко розщеплюють імідазольне кільце. Як правило, імідазол відновлюється досить важко. Незаміщене ядро імідазолу не відновлюється амальгамой натрію та цинком і соляною кислотою, червоним фосфором йодистоводневою кислотою. Кінцевими продуктами галогенування є 2,4,5-тризаміщені похідні. Хлорування і бромування здійснюються за механізмом, що відрізняється від йодування. Імідазол легко нітрується сумішшю концентрованих сульфатної і азотної кислот в положеннях 4, 5. Імідазол не нітрується азотною кислотою. Сульфування імідазолу сульфатною кислотою не проходить в положенні 2, а завжди утворюється імідазо-4-сульфокислота.

2-Аміноімідазоли в кислому середовищі легко вступають в реакцію конденсації з дикетонами, утворюючи конденсовану гетероциклічну систему з двома циклами імідазольним і піримідиновим. Ця реакція дає можливість отримати багато різних гетероциклічних сполук. Ряд сполук з імідазольним циклом володіють біологічною активністю і поширені серед медичних препаратів.

Висновки. Розглянуті способи добування імідазолівта їх хімічні властивості. Встановлено, що імідазоли та їх бензоаналоги мають широкий спектр застосування, в тому числі, на медичні цілі.

Література.

Bhatnagar, A., Sharma, P. K., & Kumar, N. *(2011).* A review on «Imidazoles»: Their chemistry and pharmacological potentials. Int J PharmTech Res, 3(1), pp. 268-282.

Визначення вмісту Плюмбуму у природних водах з використанням краун-етерів.

Марія Соколова, Олег Кроніковський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Активна техногенна діяльність людини призводить до забруднення природних вод сполуками важких металів, в тому числі й Плюмбуму. Гранично ж допустима концентрація (ГДК) вмісту Плюмбуму в питній воді складає 10 мкг/дм3 (згідно вимог ДСаНПіН 2.2.4-171-10)

Матеріали і методи. Розчини краун-етерів (“Aldrich”) готували за точною наважкою, вихідні розчини нітратів металів “х.ч.” стандартизували титрометрично. Розчин трихлорацетатної кислоти стандартизували pH-метричним титруванням. Вміст Pb^{2+} в водній та органічній фазах визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі “Сатурн-3П-1” (полум’я пропан-бутан – повітря). Реєстрацію аналітичного сигналу вели за допомогою програмного забезпечення виробництва НВО “Семі” (м. Суми). Кислотність розчинів контролювали на pH-метрі ЭВ-74 зі скляним електродом.

Результати. Для кількісної оцінки вмісту Плюмбуму в воді використовується ряд аналітичних методів. Досить експресним і чутливим методом визначення Pb є атомно-абсорбційна спектроскопія в полуменевому чи електротермічному варіантах. Однак пряме визначення Плюмбуму на рівні ГДК даним методом часто ускладнюється заважаючим впливом сторонніх йонів, що присутні в природних водах.

Метою даної роботи була розробка методики екстракційного селективного вилучення та одночасного концентрування Плюмбуму з природних вод у вигляді різнолігандного комплексу з 18-краун-6 та трихлорацетат-йоном з послідуючим атомно-абсорбційним визначенням.

Широкий інтервал pH вилучення комплексу Плюмбуму з 18-краун-6 та трихлорацетат-йоном, найбільш високе, в порівнянні з комплексами других металів, значення константи екстракції, що забезпечує необхідну селективність вилучення та дозволяє сконцентрувати Плюмбум з великих об’ємів водної фази, дали можливість розробки методики екстракційно-атомно-абсорбційного визначення Плюмбуму в різних об’єктах, в тому числі і в воді. Методика заключалась в наступному. В ділильну лійку поміщають аліквотну частину (< 990 мл) досліджуваного розчину, що містить 5 – 200 мкг Pb^{2+}, 10 мл 7 моль/л розчину трихлорацетатної кислоти, доводять об’єм водної фази до 1000 мл бідистильованою водою і екстрагують Плюмбум двома порціями 0,2 моль/л хлороформного розчину 18-краун-6 по 25 мл протягом 2 – 3 хв. кожною. Екстракти збирають, відганяють хлороформ до об’єму 10 мл, залишок переносять в мірну колбу ємкістю 25 мл, доводять до мітки спиртом (метанол, етанол, ізопропанол) і визначають вміст Плюмбуму атомно-абсорбційним методом. Результати визначення Плюмбуму при його вмісті в воді 0,010 мкг/мл та 0,020 мкг/мл в присутності 200-кратного надлишку цілого ряду катіонів сторонніх металів підтвердили селективність та точність методики.

Висновки. Методика апробована нами на реальних об’єктах. Результати визначення вмісту Плюмбуму в природних водах, отримані за даною методикою, мали досить близькі значення з результатами отриманими традиційними методами ДСТУ.

Екстракційні характеристики комплексів Плюмбуму з краун-етерами

Костянтин Підгайний, Олег Кроніковський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Комплексоутворення краун-етерів з металами зумовлено електростатичною йон- дипольною взаємодією катіонів металів з негативно зарядженими донорними атомами Оксигену, що упорядковано розміщені в поліетерному кільці. Досить ефективна та селективна сольватація краун-етерами спостерігається для катіонів лужних та лужноземельних металів.

Матеріали і методи. Розчини краун-етерів (“Aldrich”) готували за точною наважкою, вихідні розчини нітратів металів “х.ч.” стандартизували титрометрично. Розчин трихлорацетатної кислоти стандартизували pH-метричним титруванням. Вміст металів в водній та органічній фазах визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі “Сатурн-3П-1” (полум’я пропан-бутан – повітря). Реєстрацію аналітичного сигналу вели за допомогою програмного забезпечення виробництва НВО “Семі” (м. Суми). Кислотність розчинів контролювали на pH-метрі ЭВ-74 зі скляним електродом.

Результати. Дослідження виділених в твердому вигляді комплексів показали, що при відповідності йонного діаметра катіона розміру порожнини краун-етера утворюється стійкий комплекс найбільш простого складу 1:1, в якому катіон металу знаходиться в порожнині краун-етера. Якщо діаметр катіона більший за розмір порожнини краун-етера, то утворюються менш стійкі комплекси, в яких катіон може бути розміщений поза площиною макроциклічного кільця, або ж утворюються комплекси сендвічевої структури з співвідношенням метал – краун-етер 1:2 чи 2:3. Навпаки, якщо діаметр катіона значно менший за діаметр порожнини краун-етера, то кільце макроцикла набуває такої просторової конфігурації, при якій кожен донорний атом Оксигену розміщується на найбільш близькій відстані від катіона. В деяких випадках при цьому утворюються комплекси з співвідношенням метал – краун-етер 2:1.

У випадку комплексів 18-членних краун-етерів з катіонами лужних металів спостерігається повна кореляція між величинами lg Кст. та величинами радіусів йонів – так, константи стійкості комплексів металів з 18-краун-6 та його похідними збільшуються при переході від Li^+ до Na^+ і K^+, а далі зменшуються для Rb^+ і Cs^+ відповідно. Навпаки, така залежність для 15-членних краун-етерів не спостерігається, що можна пояснити значним впливом конкуренції між комплексоутворенням та гідратацією йона.

Для комплексів катіонів лужноземельних металів спостерігається залежність між Кст. і відповідністю діаметра катіона розміру порожнини краун-кільця. Так, в випадку 18-членних краун-етерів найбільш високе значення Кст. спостерігається для Ba^{2+}(2,70Å), а в випадку 15-членних – для Sr^{2+}(2,26Å).

Висновки. Розглянуто здатність до комплексоутворення ряду двозарядних катіонів лужних та лужноземельних металів в залежності від відповідності йонного діаметра катіона розміру порожнини краун-етера, а. також від здатності до поляризації та гідратації відповідних йонів. Досліджено вплив природи розчинника на процес комплексоутворення.

Вплив споживання кави на розвиток остеопорозу та ризик переломів

Катерина Ярчак, Олександр Макаренко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Остеопороз є одним із найпоширеніших захворювань кісткової системи, що характеризується зниженням мінеральної щільності кісткової тканини та підвищеним ризиком переломів. Особливо поширеним він є серед людей похилого віку та жінок у постменопаузальний період. У сучасних дослідженнях значна увага приділяється впливу харчових факторів на стан кісткової тканини. Одним із таких факторів є споживання кави та кофеїну, які можуть впливати на метаболізм кальцію та процеси ремоделювання кісткової тканини.

Матеріали та методи. Проведено аналіз та узагальнення наукових літературних джерел, присвячених дослідженню впливу кави та кофеїну на мінеральну щільність кісток і ризик розвитку остеопорозу.

Результати досліджень. Дослідження показують, що кофеїн може впливати на метаболізм кісткової тканини шляхом підвищення виведення кальцію з організму та часткового зниження його абсорбції у кишечнику. Це може призводити до незначного зменшення мінеральної щільності кісток, особливо у разі тривалого та надмірного споживання кофеїновмісних напоїв. Високе споживання кофеїну, зазвичай більше 300-400 мг або 3 і більше чашок на день, може збільшити ризик остеопорозу, зменшуючи засвоєння кальцію та прискорюючи втрату кісткової маси, особливо у жінок з низьким споживанням кальцію. Однак результати є суперечливими, деякі дослідження не вказують на значний загальний вплив або навіть потенційні захисні ефекти [1].

Зазначено, що вплив кофеїну на кісткову тканину значною мірою залежить від харчового раціону людини. При достатньому споживанні кальцію та вітаміну D негативний ефект кофеїну суттєво зменшується. У багатьох дослідженнях також зазначається, що помірне споживання кави не призводить до значних змін мінеральної щільності кісткової тканини у здорових людей [2].

Додатково встановлено, що ризик розвитку остеопорозу формується під впливом комплексу факторів, серед яких важливу роль відіграють вік, стать, гормональний статус, рівень фізичної активності та особливості харчування. У жінок у постменопаузальний період спостерігається більш виражене зниження мінеральної щільності кісткової тканини, що пов’язано зі зменшенням рівня естрогенів. У таких умовах надмірне споживання кофеїну може виступати додатковим фактором ризику [2].

Висновки. Таким чином, вплив кави на стан кісткової тканини є багатофакторним і залежить від кількості споживаного кофеїну та загального балансу поживних речовин у раціоні. Помірне споживання кави за умов достатнього надходження кальцію не становить суттєвої загрози для здоров’я кісток, тоді як надмірне споживання кофеїну може сприяти підвищенню ризику розвитку остеопорозу.

Література.

1. Kübra Tel Adıgüzel1, Özlem Köroğlu. 2022. Caffeine intake and bone mineral density in postmenopausal women. Gulhane Med J 2022;64: p. 262-267. DOI: 10.4274/gulhane.galenos.2022.93585
2. Surma, S. and Chudek, J., 2025. Coffee and Osteoporosis and the Risk of Bone Fractures. DOI:10.1039/9781839166853-00324.

Подовження терміну придатності харчових продуктів з використанням біозахисної обробки та природних сполук.

Дарія Кучеренко, Олександр Макаренко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Термін придатності харчових продуктів — це період часу, протягом якого продукт зберігає безпечність для споживання та прийнятні органолептичні характеристики за визначених умов зберігання. Його тривалість визначається сукупністю кількох ключових факторів, зокрема рецептурним складом продукту, технологією обробки, типом пакування та умовами зберігання. Зовнішні чинники, такі як газове середовище, температура та відносна вологість повітря під час зберігання, у поєднанні з внутрішніми властивостями харчових продуктів, суттєво впливають на стабільність продукту та інтенсивність процесів його псування. Продукти з тривалим терміном зберігання зазвичай характеризуються низькою активністю води або зниженим значенням pH, тоді як швидкопсувні продукти мають вищі значення цих показників. Псування харчових продуктів проявляється погіршенням смаку та запаху, утворенням газів, виділенням ексудату, а також фізико-хімічними змінами зовнішнього вигляду, кольору та консистенції. У зв'язку з цим актуальним залишається пошук ефективних підходів до подовження терміну придатності харчових продуктів, зокрема із застосуванням методів біозахисної обробки.

Матеріали та методи. Проведено аналітичний огляд сучасної наукової літератури щодо застосування біозахисної обробки харчових продуктів.

Результати. Біозахисна обробка харчових продуктів — це сучасний метод подовження терміну придатності та підвищення безпеки їжі за допомогою природних мікроорганізмів або їхніх метаболітів. Замість агресивної хімії використовуються корисні бактерії, які пригнічують ріст патогенів та плісняви.

Зазвичай застосовують молочнокислі бактерії, які цілеспрямовано інокулюють у харчову систему з метою контролю природної мікрофлори та зниження інтенсивності процесів псування і розвитку небезпечних (патогенних) мікроорганізмів. Досягнення цього ефекту зумовлене їхньою здатністю конкурувати з іншими мікроорганізмами в харчовому середовищі, а також синтезувати антимікробні метаболіти, зокрема бактеріоцини, леткі сполуки та органічні кислоти, що пригнічують ріст небажаної мікрофлори. Крім того, біозахисні культури підбирають таким чином, щоб їх розвиток мав мінімальний вплив на органолептичні властивості харчового продукту.

Ще один новий метод подовження терміну придатності залежить від використання речовин, отриманих з рослин та інших природних елементів, які можуть мати антимікробні властивості в харчових продуктах, зокрема речовин, які містяться в ефірних оліях.

Висновки. Біозахист сприяє переходу від переважно «хімічних» методів забезпечення безпечності харчових продуктів до природно орієнтованих підходів. Така стратегія розглядається як один із найбільш перспективних напрямів для виробників, які прагнуть поєднати подовжений термін зберігання продукції з високими вимогами споживачів щодо її екологічності та натуральності.

Література.

Luana Virginia Souza, Evandro Martins, Isabella Maria Fernandes Botelho Moreira, Antonio Fernandes de Carvalho *Strategies for the Development of Bioprotective Cultures in Food Preservation.* International Journal of Microbiology. Volume 2022, Article ID 6264170, p. 1-16. https://doi.org/10.1155/2022/6264170.

Кукурбітацини як перспективні природні протипухлинні сполуки: перспективи використання та токсичність

Аліна Колтун, Олександр Макаренко
Національний університет харчових технологій

Вступ. Представниками біологічно активних природних сполук тритерпеноїдної будови є кукурбітацини, які не лише характеризуються вираженою біологічною активністю, а й проявляють антиоксидантні, протизапальні та протипухлинні властивості. Ці сполуки здатні впливати на різні сигнальні шляхи клітини, що робить їх перспективними для профілактики та терапії онкологічних захворювань, метаболічного синдрому, серцево-судинних патологій та інших хронічних хвороб.

Матеріали та методи. Проведено огляд наукової літератури щодо біологічної активності кукурбітацинів, їх протипухлинних властивостей, механізмів дії та перспектив застосування.

Результати. Кукурбітацини проявляють виражену протипухлинну активність щодо різних типів ракових клітин. Найбільш активними вважаються кукурбітацини B, D, E, I, IIa, Q та R, які здатні пригнічувати ріст пухлинних клітин легень, молочної залози, товстої кишки, підшлункової залози та інших тканин. Їх дія пов’язана з впливом на сигнальні шляхи клітини, зокрема JAK/STAT3, mTOR, VEGFR, Wnt/β-catenin та MAPK, що призводить до пригнічення проліферації пухлинних клітин, індукції апоптозу та зупинки клітинного циклу.

Перспективи застосування кукурбітацинів пов’язані з їх використанням як потенційних природних протипухлинних агентів. Завдяки здатності впливати на кілька молекулярних механізмів одночасно ці сполуки розглядаються як перспективні лідируючі молекули для створення нових лікарських препаратів. Особливу увагу привертає можливість їх застосування у комбінованій протипухлинній терапії, оскільки кукурбітацини можуть підвищувати ефективність хіміотерапевтичних препаратів та знижувати резистентність пухлинних клітин до лікування.

Важливим напрямом розвитку є хімічна модифікація молекул кукурбітацинів та створення їх похідних з підвищеною селективністю і меншою токсичністю. Крім того, перспективним підходом є використання нанотехнологій і систем контрольованої доставки, які дозволяють підвищити біодоступність цих сполук, забезпечити цільову доставку до пухлинної тканини та зменшити негативний вплив на здорові клітини.
Разом з тим застосування кукурбітацинів обмежується їх потенційною токсичністю. У високих концентраціях ці сполуки можуть викликати подразнення слизової оболонки шлунково-кишкового тракту, що проявляється нудотою, блюванням, діареєю та болем у животі. Також можливі гепатотоксичні ефекти та цитотоксичний вплив на здорові клітини організму. Токсична дія пов’язана з їх високою біологічною активністю та здатністю впливати на клітинні сигнальні механізми.

Висновок. Таким чином, кукурбітацини є перспективними природними сполуками з вираженою протипухлинною активністю. Вони можуть використовуватися для створення нових лікарських препаратів, однак їх застосування обмежується токсичністю. Це відкриває перспективи для пошуку безпечніших форм та методів їх використання.

Література.

1.Javed Ahamad, Leo M. L. Nollet (2026), Bioactive Cucurbitacins: Therapeutic Benefits, Toxicity, and Analysis, *CRC Press, Boca Raton*, pp. 1–249.

Дзета-потенціал як фактор стабільності дисперсних систем

Тимофій Дацик[1], Тетяна Петренко[2]
1 - Ліцей №33, м. Київ; Україна
2 - Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Одним з ключових параметрів, що визначають стабільність дисперсних систем, є дзета-потенціал. Він характеризує електрокінетичний потенціал на межі розділу фаз і відображає силу електростатичного відштовхування між частинками. Дане дослідження є актуальним, тому що сьогодні існує недостатнє розуміння взаємозв'язку між величиною дзета-потенціалу та стабільністю дисперсних систем у різних умовах.

Матеріали та методи. П'ять різних зразків молока. Електрокінетичний потенціал (дзета-потенціал) та розмір частинок визначали методом динамічного світлорозсіювання (аналізатор Malvern Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd, UK)). Для визначення pH зразків молока користувалися pH-метром И-160 МИ (Laboratory ion meter).

Результати. Свіжість молока відіграє велике значення, адже саме від неї залежить корисність і безпека цього продукту. У свіжому молоці зберігається найбільша кількість вітамінів, мікроелементів та природних ферментів, які приносять організму користь. Свіжість молока можна визначати не лише за смаком чи запахом. У сучасній харчовій науці для цього використовують спеціальні фізико-хімічні показники, серед яких найважливішими є кислотність (pH) та дзета-потенціал. Вони допомагають точно оцінити стан молока та виявити ранні ознаки псування. Об'єктами дослідження в даній роботі було обрано 5 різних зразків молока. Електрокінетичний потенціал (дзета-потенціал) та розмір частинок визначали методом динамічного світлорозсіювання на аналізаторі Malvern Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd, UK). З метою отримання більш точних даних і виключення випадкових значень вимірювання проводили в семикратній повторюваності. Робота приладу контролювалась з використанням програмного забезпечення Malvern Zetasizer Software, отримані результати оброблялись пристроєм автоматично та виводились на монітор у вигляді електронного звіту. Вимірювання дзета-потенціалу та розміру міцел казеїну за допомогою динамічного світлорозсіювання базується на розсіюванні світла рухомими частинками, тому зразки повинні були бути достатньо розведені згідно [1]. Розведення проводили дистильованою водою у співвідношенні 1:100. Сухе молоко попередньо готували шляхом розведення теплою дистильованою водою (~35 оС) у співвідношенні 1:3, для одержання жирності 2,6 %. Дослідження проводили відразу після приготування зразків. Як показали проведені дослідження, зміни у значеннях потенціалу в залежності від тривалості зберігання продукту, спостерігались для всіх зразків молока. Зокрема, для необробленого натурального молока – більше, ніж в 5 разів, тоді як для пастеризованого молока за такий самий проміжок часу – тільки у 3,8 раз.

Висновки. Одержані результати можуть бути використані для подальшого вивчення ролі дзета-потенціалу, розміру частинок та величини pH в оцінюванні свіжості та визначенні початку псування молока різних виробників, що реалізуються в торговельних мережах України.

Література.

1. Sun Y., Roos Y.H. Miao S. *Changes in Milk Fat Globules and Membrane Proteins Prepared from pH-Adjusted Bovine Raw Milk*. Foods, 2022. 11(24). 4107. https://doi.org/10.3390/foods11244107

Біологічно активні складники гранату *(Punica granatum L.*)

Олена Ковальчук, Світлана Бондаренко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Гранат *(Punica granatum L.)* традиційно використовується в усьому світі, завдяки його лікувальній дії та оздоровчому ефекту. Окрім користі для здоров'я, він має промислове застосування в харчових технологіях, косметиці та медицині [1]. Аналіз властивостей складників гранату, особливо його шкірки та насіння, має важливе значення для розробки нових функціональних харчових продуктів та косметичних засобів.

Матеріали та методи. У дослідженні проведено аналіз сучасної наукової літератури щодо властивостей складників гранату та перспектив їх практичного застосування.

Результати. Різні частини плоду гранату містять широкий спектр біологічно активних сполук, механізм дії яких має потенціал для лікування численних патофізіологічних станів. Неїстівні частини, такі як шкірка та насіння, – багаті джерела поживних речовин, хоча вони є відходами харчової промисловості [1].

Так, шкірка гранату, яка складає 25 – 30% від загальної ваги плодів, містить флавоноїди, включаючи антоціани, алкалоїди, таніни, еллагову кислоту та інші фенольні сполуки. Біологічно активними складниками насіння гранату є таніни, флавоноїди, зокрема катехіни й епікатехіни, еллагова кислота та лігнани. Олія гранатових кісточок – це суміш жирних кислот (пунікової кислоти (64%–83%), лінолевої кислоти (до 29%) та олеїнової кислоти (до 10%)), а також фенольних сполук [1,2].

Як було показано, екстракти шкірки та насіння, а також олія кісточок гранату, отримана холодним пресуванням, виявляють антиоксидантні та протизапальні властивості. Антоціани та еллаготаніни шкірки й насіння виявляють противірусну дію та здатні пригнічувати ріст ракових клітин, поліфеноли ефективно впливають на діабет та серцево-судинні захворювання, володіють гепатопротекторними властивостями. Багато досліджень показали багатообіцяючі результати щодо впливу шкірки гранату на нейродегенеративні захворювання та здатність покращувати когнітивну поведінку. До того ж, олія гранатових кісточок володіє антимікробною та протигрибковою дією [1,2].

Складники шкірки й насіння гранату є цінними компонентами для косметичних засобів. Еллагова кислота та пунікалагіни здатні покращувати здоров'я шкіри, пригнічуючи вироблення меланіну та знижуючи оксидативний стрес. Поліфеноли забезпечують захист від УФ-випромінювання та сприяють виробленню колагену [2].

Висновки. Унікальний склад, багатофункціональність й оздоровчий вплив складників шкірки та насіння гранату обумовлює високий терапевтичний потенціал цієї рослинної сировини як для розробки нових функціональних харчових продуктів, так і засобів догляду за шкірою.

Література .

1. Noreen, S.; Hashmi, B.; Aja, P. M.; Atoki, A. V. (2025) ,Phytochemicals and pharmacology of pomegranate *(Punica granatum L.)*: nutraceutical benefits and industrial applications: a review. Front. Nutr.,12, 1528897.

2. Dimitrijevic, J.; Tomovic, M.; Bradic, J. et al. (2024), *Punica granatum L. (Pomegranate)* Extracts and Their Effects on Healthy and Diseased Skin. Pharmaceutics, 16, 458.

5-Гідроксиметилфурфураль у продуктах харчування

Світлана Литвиненко, Надія Квітковська
Національний університет харчових технологій, Київ. Україна

Вступ. 5-Гідроксиметилфурфураль утворюється в результаті термічної обробки продуктів або тривалого зберігання. Ця сполука є одним з ключових індикаторів якості, свіжості та безпеки їжі.

Матеріали і методи. Проаналізовано та систематизовано наукові праці з даної теми для подальшого дослідження.

Результати. В ході процесів теплової обробки може утворюватися велика кількість різноманітних сполук, які можуть бути як безпечними для організму людини, так і спричиняти негативний вплив. 5-Гідроксиметилфурфураль (HMF) – це циклічний альдегід, що є проміжним продуктом розкладу відновлюючих вуглеводів, та утворюється внаслідок термообробки або довготривалого зберігання.

5-HMF міститься у багатьох продуктах харчування наприклад у сухофруктах, меді, сухих сніданках, карамелі, розчинній каві, деяких соках, випічці, злакових продуктах та навіть у алкогольних напоях. Помітно, що серед перелічених продуктів переважають ті, що містять велику кількість вуглеводів. В Україні та світі вміст 5-гідроксиметилфурфуралю використовують як показник контролю якості меду, оскільки цей продукт багатий глюкозою та фруктозою. Як метод аналізу використовують колориметричний метод з використанням барбітурової кислоти, реактиву Керреса та паратолуїдину. Суть методу полягає у вимірюванні оптичної густини при довжині хвилі 550 нм після утворення кольорової сполуки, вміст якої пропорційний вмісту 5-гідроксиметилфурфуралю. Існує низка досліджень, що вказує на шкідливий вплив 5-гідроксиметилфурфуралю на організм людини. У високих концентраціях HMF може викликати подразнення слизових оболонок, зміни в печінці, селезінці та показниках крові, і навіть бути канцерогенним, геннотоксичним. 5-гідроксиметилфурфураль може також впливати на деякі ферменти, інгібуючи їх. Проте існують абсолютно протилежні дослідження, які навпаки детальніше вивчали саме антиканцерогенну дію 5-гідроксиметилфурфуралю. У роботі [1] автори використали серію біохімічних аналізів, клітинних тестів на гемоліз еритроцитів, а також ряд інших біологічних методів дослідження для вивчення дії 5-HMF на ракові клітини людини. Було підтверджено, що 5-гідроксиметилфурфураль виявив виражену антиоксидантну активність, знижував рівень вільних радикалів. У роботі [2] 5-HMF розглядається як перспективний природний інгібітор алергічних реакцій I типу, що може бути використаний у подальшій розробці антигістамінних засобів. Важливо зазначити, що досліджувані концентрації були доволі низькими, і за таких значень концентрацій 5-HMF не може становити загрози для організму.

Висновки. Отже, при низьких концентраціях він може проявляти антиоксидантні й антигістамінні властивості, тоді як його надлишок може бути небезпечний, спричиняти ураження внутрішніх органів та мати канцерогенну дію.

Література.

1. Zhao, L., Chen, J., Su, J., Li, L., Hu, S., Li, B., Zhang, X., Xu, Z., & Chen, T. (2013). In VitroAntioxidant and Antiproliferative Activities of 5-Hydroxymethylfurfural. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61(44), 10604–10611. https://doi.org/10.1021/jf403098y
2. Yamada, P., Nemoto, M., Shigemori, H., Yokota, S., & Isoda, H. (2010). Isolation of 5-(Hydroxymethyl)Furfural fromLycium chinenseand its Inhibitory Effect on the Chemical Mediator Release by Basophilic Cells. Planta Medica, 77(05), 434–440. https://doi.org/10.1055/s-0030-1250402

Використання ціанінових барвників в аналізі природних об'єктів

Софія Мартова, Надія Квітковська
Національний університет харчових технологій, Київ. Україна

Вступ. Ціанінові барвники є потужним інструментом в аналітичній хімії завдяки своїй здатності кардинально змінювати спектральні властивості у відповідь на появу певних аналітів.

Матеріали і методи. Проаналізовано та систематизовано наукові праці з даної теми для подальшого дослідження.

Результати. Безперечно основними завданнями кількісного аналізу є: зниження межі визначення та розширення діапазону концентрацій речовини, що визначається. Наразі існують інструментальні методи аналізу, що відносно відповідають цим вимогам. Наприклад, хроматографія, що широко застосовується у харчовій галузі переважно для аналізу органічних речовин. Але використання цих методів дослідження вимагає використання особливого дорогого обладнання, яке комплектується під спеціальні завдання досліджень і не може бути універсальним. На відміну від хроматографічних методів, спектрофотометричні методи дослідження є більш доступними в зв'язку з наявністю майже в кожній лабораторії спектрофотометрів та фотоколориметрів. З метою розвинення спектрофотометричних методів дослідження, зокрема у водному середовищі, актуальною є можливість використання ціанінових барвників. Ціанінові барвники мають поліметиновий ланцюг, приєднаний до гетероциклічних/негетероциклічних фрагментів. Гетероароматичні молекули, такі як пірол, імідазол, тіазол, піридин, хінолін, індол, бензотіазол тощо, зазвичай знаходяться як кінцеві групи. Представники цього класу барвників змінюють власні спектральні характеристики в присутності інших органічних молекул, що дає змогу використовувати їх в якості зонду для дослідження процесів агрегації та встановлення кількісного вмісту речовини в суміші. Деякі монометинові ціаніни, як-от SYBR Green I, використовуються для кількісного визначення ДНК і РНК. При зв'язуванні з ДНК інтенсивність їхньої флуоресценції може зростати у сотні разів, що робить їх чутливими сенсорами. Ціанінові барвники використовуються в хімічному аналізі як високочутливі спектральні зонди та реагенти, здатні змінювати поглинання або флуоресценцію при зв'язуванні з біологічними молекулами. Вони дозволяють визначати кількісний вміст речовин, досліджувати динаміку біомолекул та застосовуються в методах капілярного електрофорезу. Також вони застосовуються в методах, що базуються на молекулярній спектроскопії для вивчення статичних і динамічних властивостей молекул.

Ціанінові барвники використовують багатьох галузях прикладної хімії, включаючи фотографічну промисловість, матеріали для зберігання даних, фотосенсибілізатори, лазери, фотодинамічну терапію, напівпровідникове перемикання та медичну діагностику за допомогою флуоресцентного зондування та хемосенсори.

Висновки. Завдяки численним застосуванням у галузі медицини, науки та техніки, ціанінові барвники займають незамінне місце в хімічному аналізі, а також як барвники та пігменти.

Література.

1. G.S. Gopika, P.M. Hari Prasad, A.G. Lekshmi, S. Lekshmypriya, S. Sreesaila. Chemistry of cyanine dyes-A review. Materials Today: Proceedings Volume 46, Part 8, 2021, Pages 3102-3108, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.622

Переваги методу озонової дезінфекції для очищення води

Іван Пономаренко, Надія Квітковська
Національний університет харчових технологій, Київ. Україна

Вступ. Вдосконалення різних досягнень у сфері санітарної обробки води є суттєвим питанням. Серед численних досягнень у сфері планової обробки питної води, відомими методами дезінфекції є озонування та хлорування.

Матеріали і методи. Проаналізовано та систематизовано наукові праці з даної теми для подальшого дослідження.

Результати. Знезараження води в процесі водопідготовки для господарсько-питних цілей проводять з метою знищення можливих патогенних бактерій і вірусів. Як правило, в якості знезаражувальних агентів використовують хлор, або його сполуки: діоксид хлору, гіпохлорити натрію і кальцію, хлорне вапно, хлораміни. Відомо, що недоліками цього відносно простого методу знезараження є знижена інактивуюча здатність по відношенню до спороутворюючих кишкових бактерій і вірусів, а також здатність вступати в реакцію з органічними речовинами і утворювати побічні, токсичні для людини речовини, що мають канцерогенну та мутагенну активність. Озонування води дозволяє істотно поліпшити якість води і вирішити безліч проблем, які виникають під час хлорування. Використання озону є одним із найефективніших сучасних методів очищення води завдяки його потужним окиснювальним властивостям. Протягом процесу озонування утворюються біорозкладні органічні побічні продукти, тоді як у процесі хлорування утворюються деякі небезпечні побічні продукти (тригалометани та галооцтові кислоти). Озон не утворює галогенованих побічних продуктів, які утворюються при підвищеному рівні бромідів/хлоридів. Відсутність побічних ефектів є найбільшою перевагою процесу озонування. Розпад озону у воді супроводжується утворенням високоактивних вільних радикалів, зокрема гідроксильних радикалів ·OH, які є ще потужнішими окиснювачами, ніж сам озон. Процеси озонування мають кілька переваг, ефективні для видалення мікроорганізмів та інших синтетичних органічних і неорганічних речовин, що використовуються як заміна процесу хлорування. Нарешті, з питної води штами хлоростійких бактерій, наприклад, cryptosporidium parvum та giardia lamblia, можуть бути легко пошкоджені при низьких концентраціях озону. В результаті зростає попит на виробництво озону за нижчою вартістю. Озон виробляють переважно електричним розрядом (коронний розряд) у спеціальних приладах – озонаторах, пропускаючи повітря або чистий кисень через зону високої напруги. Інші методи включають електроліз (для високих концентрацій) та ультрафіолетове випромінювання (для малих побутових приладів). У роботі [1] порівняння цих методів показує, що метод імпульсних коронних розрядів має дещо нижчу початкову вартість і є більш економічним у довгостроковій перспективі.

Висновки. Озон широко застосовується для очищення води як окиснювач. Основними ефектами озонування є знебарвлення, усунення смаку та запахів, розкладання органічних речовин та дезінфекція.

Література.

1. Amjad Hossen, Firoz Ahmed, Siddhartha Sankar Saha. Advantages of ozone disinfection method for water purification over chlorine disinfection Natural Resources Conservation and Research (2023) Volume 6 Issue 2. doi: 10.24294/nrcr.v6i2.2090

Гліцидол в продуктах харчування

Христина Тхадані, Надія Квітковська
Національний університет харчових технологій, Київ. Україна

Вступ. Гліцидол у продуктах харчування зазвичай присутній не у вільному стані, а у формі гліцидилових ефірів жирних кислот (GE), що утворюються в продуктах харчування з використанням олій при обробці за високих температур.

Матеріали і методи. Проаналізовано та систематизовано наукові праці з даної теми для подальшого дослідження.

Результати. Гліцидол та його ефіри є небезпечними забруднювачами харчових продуктів (особливо рафінованих олій), класифікованими як генотоксичні канцерогени. Вони пошкоджують ДНК, підвищують ризик розвитку раку, шкодять ниркам та погіршують чоловічу фертильність, причому особливу занепокоєність викликає їхня дія на немовлят та дітей [1]. Під час травлення під дією ліпази в організмі людини GE розщеплюються, вивільняючи вільний гліцидол. Дослідження на тваринах показали, що пероральне введення гліцидолу викликає пухлини в різних органах, включаючи молочні залози, мозок та шлунок.

Гліцидол (2,3-епокси-1-пропанол) – це хімічна сполука, що містить епоксидну та спиртову групи. Гліцидилові естери жирних кислот є джерелом слідів гліцидолу в раціоні. Найвищі концентрації знаходять у пальмовій олії, маргарині, кондитерських виробах, шоколадних пастах, чипсах, картоплі фрі, лапші швидкого приготування та дитячих сумішах. GE утворюються на етапі дезодорації в процесі рафінування харчової олії, де для видалення домішок використовується пара та високі температури. Умови реакції на цьому етапі можуть дозволити моногліцеридам та дигліцеридам, які природно присутні в олії, перегрупуватися в гліцидилові естери жирних кислот (допустиме добове споживання 2 мкг/кг ваги тіла для дорослих).

Гліцидол, який вимірюється переважно у вигляді гліцидилових естерів (ГЕ), визначається в харчових продуктах (особливо в рафінованих оліях/жирах) за допомогою газової хроматографії-мас-спектрометрії (ГХ-МС) або рідинної хроматографії-тандемної мас-спектрометрії (РХ-МС). Ці методи є складними на практичному застосуванні через наявність різних стандартних сполук, знижену чутливість, труднощі з очищенням зразків, що ускладнює весь метод аналізу. Також існують непрямі методи визначення, що включають різні способи вивільнення естеру: кислотний каталіз, лужний каталіз при низькій температурі, лужний каталіз при кімнатній температурі та гідроліз ліпазою [2].

Висновки. Гліцидол та його ефіри є небезпечними харчовими контамінантами, що утворюються переважно при рафінації рослинних олій. Вони є потенційними канцерогенами, які можуть сприяти розвитку онкологічних захворювань, тому варто обмежувати споживання продуктів з високим вмістом промислово оброблених жирів та рафінованих олій.

Література.

1. Jenny Aasa, Efstathios Vryonidis, Lilianne Abramsson-Zetterberg. Internal Doses of Glycidol in Children and Estimation of Associated Cancer Risk. Toxics. 2019 Feb 1;. doi: 10.3390/toxics7010007
2. A. Garballo-Rubio, J. Soto-Chinchilla, A. Moreno, A. Zafra-Gómez. A novel method for the determination of glycidyl and 3-monochloropropanediol esters in fish oil by gas chromatography tandem mass spectrometry. Talanta. V. 165, 1 April 2017, P.267-273. doi.org/10.1016/j.talanta.2016.12.060

Джерела заліза у харчових продуктах

Максим Падій, Христина Чебаненко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Актуальність вивчення та аналізу джерел заліза у харчових продуктах є важливим для розуміння, того, що залізо завжди входить до складу складних хімічних сполук та біологічних комплексів. Те, в якій саме речовині міститься залізо, хімізм процесу засвоєння, визначає його біодоступність, що наздвичайно важливо.

Матеріали та методи. У дослідженні використано аналіз сучасної вітчизняної та закордонної наукової літератури з даного питання.

Результати та обговорення. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), дефіцит заліза є найпоширенішим нутрієнтним розладом у світі, який призводить до залізодефіцитної анемії. У харчових продуктах залізо зустрічається у двох основних формах: гемове та негемове залізо. Вони кардинально відрізняються за хімічною будовою, джерелами походження та механізмами засвоєння. Гемове залізо міститься виключно в продуктах тваринного походження (хоча сучасна наука знаходить аналоги в деяких рослинах, у традиційному раціоні це тваринна їжа). У цій формі атом заліза (зазвичай двовалентний, Fe^{2+}) укладений у центрі великого органічного кільця, яке називається порфірином. Разом вони утворюють комплекс - гем. Гемоглобін - це білок, який міститься в еритроцитах (червоних кров'яних тільцях) тварин. Найбільша кількість гемоглобіну міститься у кров'яній ковбасі, м'ясних субпродуктах. Міоглобін - це споріднений із гемоглобіном білок, який запасає кисень безпосередньо у м'язовій тканині. Чим темніше м'ясо тварини, тим більше в ньому міоглобіну. Завдяки особливому механізму засвоєння гемового заліза є дуже високим і становить 15-35%. Негемове залізо становить більшу частину заліза в раціоні людини (85-90%), оскільки воно міститься у продуктах рослинного походження, молочних продуктах, яйцях, а також додається у збагачені продукти харчування. У рослинах залізо присутнє переважно у тривалентній формі (Fe^{3+}) і входить до складу різноманітних неорганічних солей та складних органічних комплексів. Основні речовини, що містять негемове залізо: фітати (солі фітинової кислоти) - значна частина заліза у злаках, бобових, насінні та горіхах міститься у вигляді комплексів із фітиновою кислотою. Ці комплекси є надзвичайно стійкими. Рослинний феритин - тривалий час вважалося, що феритин (білок, що зберігає залізо) є прерогативою лише тварин. Проте дослідження показали, що бобові містять рослинний феритин. Неорганічні солі та органічні кислоти - у деяких овочах та фруктах залізо може бути зв'язане з органічними кислотами (цитрат та малат заліза). Такі форми є більш розчинними і краще засвоюються. Для боротьби з анемією багато країн збагачують продукти використовуючи такі речовини, як сульфат, фумарат, глюконат або пірофосфат заліза. Іноді використовують мікрокапсульоване залізо. Речовини, що покращують засвоєння: аскорбінова кислота, органічні кислоти, "м'ясний фактор". Науково доведено, що додавання навіть невеликої кількості м'яса, птиці або риби до вегетаріанської страви значно збільшує засвоєння негемового заліза з рослин. Інгібітори засвоєння: поліфеноли та таніни, фітинова кислота, а також кальцій — це єдина речовина, яка довела здатність пригнічувати засвоєння як негемового, так і гемового заліза.

Висновок. Найбільш цінним для швидкого відновлення рівня заліза в організмі є гемове залізо. Рослинна їжа є багатим джерелом негемового заліза (солі, фітати та фітоферитин), проте його засвоєння вимагає уважного ставлення до комбінування продуктів.

Моніторинг вмісту фтору у питній воді та стан державного контролю на прикладі міста Конотоп

Євгенія Ковшик, Христина Чебаненко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Контроль вмісту фтору в питній воді є основою профілактики захворювань. Важливим аспектом державного нагляду є забезпечення доступності результатів моніторингу для потреб профілактики населення.

Матеріали та методи. Національні доповіді про якість питної води (2021–2024 рр.) та оперативні дані офіційного сайту КП «Конотопводоканал» за січень 2026 р використовуються у даній роботі. Об'єктом дослідження є деталізація та доступність публічної звітності про стан водопостачання.

Результати обговорення. Виходячи з аналізу Національних доповідей (2021–2024 рр.) можна побачити відповідність підземних вод м. Конотоп Сумської області санітарно-гігієнічним нормам. У 2022 році якість питної води з систем централізованого водопостачання не відповідала встановленим нормативам у Конотопському районі по мікробіологічних та санітарно-хімічних показниках. Серед дослідження норми санітарно-хімічних показників є визначення фтору, хлоридів, сухого залишку, загальна жорсткість, заліза, pH, окиснюваності, присмаку, забарвленісті, каламутністі). Однак, місто не входить до переліку населених пунктів, що користувалися питною водою з відхиленнями за санітарно-хімічними та мікробіологічними показниками якості питної води, наприклад, за 2023-24 роки. Це ще раз доводить, що рівень фторидів у Конотопі стабільно тримається в межах норми (0,7–1,2 мг/дм³). Існують природні проблеми вихідної води в невеликих населених пунктах, зокрема щодо вмісту фторидів (в Полтавській, Чернігівській, Львівській, Одеській областях).

Проте аналіз звітності на офіційному сайті КП «Конотопводоканал» за січень 2026 р. виявив відсутність цифрових показників (наявність прочерків у графі вмісту фторидів). Якщо викладати дані лише за один місяць, то відстежити їхню зміну неможливо.

Слід підкреслити, що знання концентрації фтору є важливі для споживача навіть у межах норми (0,7–1,2 мг/дм³). Показник на нижній межі діапазону може вимагати додаткової профілактики карієсу. Наближення до верхньої межі робить використання фторованої солі чи паст надлишковим. Тому загальні висновки замість фактичних, обмежують можливості для наукової спільноти, та свідомого ставлення населення до власного здоров'я.

Висновки. Отже, потрібно підвищити інформативність публічних звітів водоканалів. Перехід до регулярних публікацій показників у динаміці надає право громадянам на усвідомлену профілактику та підвищить прозорість системи державного моніторингу.

Література.

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2023 році. — К. : Міністерство розвитку громад та територій України.
2. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2024 році. — К. : Міністерство розвитку громад та територій України.
3. Якість питної води [Електронний ресурс] // Офіційний сайт КП «Конотопводоканал». — 2026. — Режим доступу: https://konotop.gkh.in.ua.

Мінеральні елементи та вітаміни у зелених овочах

Ольга Шевчук, Христина Чебаненко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Для задоволення базових потреб у незамінних поживних речовинах щодня потрібно їсти більше 300 грамів зелені та зелених овочів.

Матеріали та методи. Проведено вивчення та аналіз сучасних джерел з даного питання.

Результати та обговорення. Центр з контролю і профілактики захворювань (CDC) в 2014 році опублікував звіт, в якому оцінено 47 фруктів і овочів по щільності поживних речовин. Проаналізуємо деякі найкорисніші і поширені зелені овочі. Найчастіше зелені овочі забезпечують Ca, Mg і K, що допомагають підтримувати лужний pH в організмі. Зелень також є рослинним джерелом заліза.

Шпинат його соковиті листочки цієї трав'янистої рослини широко застосовуються в кулінарії. Вони містять багато грубих харчових волокон, тому корисні для кишківника. До складу шпинату входять вітаміни A, B, C, E, мінерали Ca, Mg, Fe, K, Zn, Mg аскорбінова кислота.

Зелений горошок це багате джерело мінералів, особливо Калію, Магнію, Фосфору, Заліза, Кальцію, а також Міді, Кобальту та Цинку.

Брюссельська капуста містить вітаміни групи B, C, A, цілий ряд мінералів, мікроелементів, амінокислот і ферментів.

У селері міститься багато вітамінів і мінеральних речовин. Але найбільше Na. Броколі - один з найбільш корисних овочів. У складі її велика кількість вітаміну C, що перевищує вміст його в цитрусових і чорній смородині. Є в ній також вітаміни K, B, A, мінерали Mg, K, P, Mn, Ca та ін.

У складі салату містяться вітаміни групи B, C, A, у великій кількості мікроелементи Ca, K, S, I, P.

Зелена спаржа найбільш поширена, смачна і містить більше корисних речовин. У складі її вітаміни A, B, C, E, H, PP, мікроелементи Mg, Zn, Fe, Ca, P, Na.

Пір'я шнітт- цибулі багаті на вітаміни B, K, аскорбіновою кислотою, бета-каротином, мікроелементами Ca, Mg, Fe, K, P, Zn, Se, Cu.

Рукола - у її складі бета-каротин, вітаміни групи B, E, C, K, мікроелементи Mg, Zn, Se, Cu, Mn, Fe, P, Na.

В петрушці високий вміст каротину, ефірних олій, провітаміну A, вітамінів групи B, фолієвої кислоти, K, Mg, Fe.

Кріп — це джерело цінних мікроелементів, серед яких найбільше калію, кальцію, фосфору, заліза, а також магнію, марганцю, міді, селену та цинку. Він багатий на вітаміни (C, B_1, B_2, PP, P, каротин).

Цибуля порей — цінне джерело мікроелементів, багате на K, Mg, Fe, P, S, Mn та Se і містить важливі фолати (вітамін B_9), вітаміни K, A та C.

Важливо зазначити, що сумісність вітамінів і мінералів є важливим елементом під час прийому. Наприклад, кальцій перешкоджає нормальному засвоєнню заліза. Вітаміни E, A унеможливлюють засвоєння вітаміну K. Вітаміни B_6 і B_{12} не рекомендується приймати з тіаміном. B_{12} рекомендується отримувати з фолієвою кислотою тощо.

Висновок. Компонентів та речовин, яких потребує наш організм для активної діяльності, у зелені широкий спектр, що є надзвичайно цінним, але варто враховувати як синергістичну так і антагоністичну дію різних нутрієнтів.

17.2.

Chemical technology

17.2.

Хімічна технологія

Вплив гіалуронової кислоти на бар'єрну функцію та гідратацію епідермісу

Альона ЯСНОГОРОДСЬКА, Олена РОЇК
КНУТД, Київ; КНУТД, Київ

Вступ. У сучасних умовах шкіра постійно зазнає впливу комплексу несприятливих екзогенних чинників, серед яких провідне значення мають ультрафіолетове випромінювання, забруднення атмосферного повітря, коливання температури та зниження відносної вологості. Вплив цих факторів супроводжується розвитком оксидативного стресу, ушкодженням ліпідної матриці рогового шару та порушенням бар'єрної функції епідермісу. Метою дослідження є аналіз клінічної ефективності зволожувальних косметичних засобів із гіалуроновою кислотою для корекції сухості та вікових змін шкіри.

Матеріали та методи. Дослідження проводилось на основі аналізу сучасних клінічних даних та результатів рандомізованих досліджень ефективності зволожувальних засобів із гіалуроновою кислотою (ГК). Для оцінки стану епідермального бар'єра використовували метод вимірювання трансепідермальної втрати води (TEWL); рівень гідратації рогового шару визначали корнеометрією. Еластичність шкіри оцінювали кутометрично. Суб'єктивні показники збирались за стандартизованими дерматологічними шкалами.

Результати та обговорення. Регулярне застосування зволожувальних засобів із ГК протягом 2–4 тижнів сприяє зниженню TEWL у середньому на 10–25 %, що свідчить про відновлення бар'єрної функції епідермісу. Рівень гідратації рогового шару підвищується на 15–30 % (за даними корнеометрії). Еластичність шкіри зростає на 5–15 %, що пов'язано зі стабілізацією стану міжклітинного матриксу. Використання різних молекулярних форм ГК реалізує багаторівневий ефект: високомолекулярні фракції формують гідрофільну плівку на поверхні, тоді як низькомолекулярні — частково проникають у роговий шар і підтримують внутрішню гідратацію. Клінічно інтенсивність сухості шкіри знижується на 1–2 бали за дерматологічними шкалами вже через 14–28 днів. За даними клінічних спостережень, 70–90 % користувачів відзначають зменшення відчуття стягнення та покращення загального комфорту шкіри. Профіль безпеки зазначених засобів є високим, небажані реакції мінімальні.

Висновки. Зволожувальні косметичні засоби з гіалуроновою кислотою забезпечують комплексний позитивний вплив на шкіру: підвищують рівень гідратації, знижують TEWL та покращують еластичність, що обґрунтовує їх застосування як ефективного засобу профілактики та корекції сухості й вікових змін шкіри.

Література

1. Fluhr J.W. et al. Epidermal barrier function in dry skin. J Eur Acad Dermatol Venereol. 2024.
2. Bonté F. Skin hydration and hyaluronic acid. J Cosmet Dermatol. 2020.
3. Kim S. et al. Skin care regimen and hydration improvement. J Dermatolog Treat. 2022.
4. Krutmann J. et al. Skin aging exposome. Dermato-Endocrinology. 2022.
5. Huang Y. et al. Oxidative stress and skin aging. Antioxidants. 2022.

Sodium metabisulfite in cosmetology: a chemical stabilizer of active ingredients and a reducing agent in hair care products

Maryna Ivanova, Olesia Romanova
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. In the cosmetics industry, sodium pyrosulphite plays a key role in stabilising labile assets and specifically modifying the structure of hair fibre keratin, acting as a preservative and antioxidant. In the food industry, the E223 additive is valued for its deoxidising ability, which prevents oxidative processes in multicomponent systems.

Materials and methods. A comprehensive analytical review of scientific literature, patent documentation and regulatory acts (in particular, the Technical Regulations for Cosmetic Products) was conducted. A comparative analysis of the antioxidant efficacy and reducing capacity of sodium metabisulphite in modern cosmetic production was performed.

Results. Sodium metabisulphite (sodium pyrosulphite) is a white or yellowish crystalline powder with a characteristic pungent odour of sulphur dioxide. The chemical formula of the compound is $Na_2S_2O_5$. The substance is a product of the interaction of sulphur dioxide SO_2 with a soda-sulphite solution. Sodium metabisulphite is highly soluble in water, forming sodium hydrosulphite upon hydrolysis, and exhibits strong reducing properties. When dissolved, the compound releases active sulphite ions ($SO3^{2-}$) and hydrosulphite ions (HSO^{3-}), which are the main active agents.

Research has shown that the functionality of sodium metabisulphite in cosmetics is based on two chemical mechanisms. In depigmenting and rejuvenating products, $Na_2S_2O_5$ acts as a 'sacrificial' antioxidant. Having a higher affinity for oxygen than ascorbic acid or hydroquinone, it is the first to undergo oxidation, turning into stable sulphates. This allows the organoleptic properties (colour, smell) and therapeutic activity of the product to be preserved throughout its shelf life.

In products for permanent hair reshaping (keratin restoration), sodium metabisulphite acts as a mild reducer of disulphide bonds (-S-S-). Unlike aggressive thioglycolic acid salts, the reaction with pyrosulphite occurs at moderate pH values (around 6.0–8.0), which significantly reduces the risk of damage to the hair cuticle and minimises irritation to the epidermis. This makes E223 the optimal choice for formulations targeting damaged and thin hair.

Conclusion. Sodium metabisulphite ($Na_2S_2O_5$) is a strategically important component of cosmetic chemistry, combining the functions of an antioxidant stabiliser for labile compounds and a mild reducer of the keratin structure of hair. The use of this compound prevents the degradation of active ingredients in skin care products and ensures gentle modification of disulphide bridges in trichological products with minimal damage to the cuticle.

Despite its effectiveness, the use of E223 is limited by strict concentration limits in accordance with EU Regulation No. 1223/2009 due to the risk of allergic reactions. Further development of the industry involves the creation of synergistic systems with chelating agents to enhance the protective effect at minimum doses of the active substance.

References

1. Belsito, M. D., Klaassen, C. D., Liebler, D. C., Marks Jr, J. G., & Shank, R. C. Safety Assessment of Sulfites as Used in Cosmetics. *International Journal of Toxicology*, 22, 2019.

Safety Assessment and Technological Aspects of the Use of Sodium Erythorbate in Cosmetic Formulations

Tetiana Pitsiva, Olesia Romanova
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. Sodium erythorbate is a white crystalline powder and a new-generation antioxidant. It possesses a variety of beneficial properties, making it a valuable ingredient in cosmetics.

Materials and methods. An analytical review of the literature was conducted, and the use of sodium erythorbate in cosmetics and its toxicological properties were examined.

Results. Sodium erythorbate (food additive E316) is an effective antioxidant widely used in cosmetic formulations. According to data submitted to the Food and Drug Administration (FDA) in January 1996, this compound was found in 19 types of cosmetic products, including hair dyes, creams, lotions, serums, and toners.

Although the modern cosmetics industry is no longer required to submit detailed reports on concentrations to the FDA, archival data from 1984 indicate that sodium erythorbate was used in hair dye products at concentrations exceeding 50%. It should be emphasized that the highest concentration of this additive is characteristic of oxidative dyes, where the substance is completely consumed during a chemical reaction as the components are mixed [1].

Toxicological studies in rabbits demonstrated the absence of irritation to intact and damaged skin, even following prolonged administration of high doses of the compound. In addition, studies in rats and mice confirmed the absence of embryotoxicity, teratogenicity, and adverse effects on fetal development following oral administration of high concentrations of E316.

Genotoxicity testing revealed only isolated positive results. Studies of the ingredient's antioxidant properties in animals following carcinogen induction revealed a reduction in tumor incidence in some cases or no effect at all. In none of the experiments did the use of sodium erythorbate lead to an increase in carcinogenesis [1].

The regulatory status of the compound is confirmed by its inclusion in the "Japanese Standards for Cosmetic Ingredients" (2nd edition). Furthermore, the ingredient is not included in the list of substances prohibited for use in cosmetics within the European Union. Thus, based on the available safety data and practical experience, sodium erythorbate is recognized as a safe cosmetic ingredient under current conditions of use [1].

Conclusion. Based on an analysis of the toxicological and physicochemical properties of sodium erythorbate (E316), it has been established that it is highly effective as an antioxidant in cosmetic formulations, particularly in oxidative hair coloring systems. The absence of dermatological irritation, teratogenic effects, and carcinogenic activity, confirmed by long-term studies (FDA, Japanese and EU standards), allows this ingredient to be classified as safe for use in the modern cosmetics industry. The compound's complete reactivity during chemical interactions minimizes residual effects on the epidermis, justifying its use as a stabilizing component.

References

1. Preethi S. Raj (2022), Re-Review of the Safety Assessment of Erythorbic Acid and Sodium Erythorbate. *Cosmetic Ingredient Review* Washington, USA.

Physicochemical investigation of garcinia cambogia extract and hydroxycitric acid as a bioactive ingredient of dietary supplements

Daria Menshykova, Olesia Romanova
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. Obesity and metabolic disorders are critical public health challenges of the 21st century. This research focuses on the scientific substantiation of using natural compounds, specifically hydroxycitric acid (HCA), for lipogenesis regulation.

Materials and methods. The objects of study included Garcinia cambogia fruit rinds, aqueous extract, and isolated HCA. Analytical methods employed were FTIR, ESI-MS, 1H NMR spectroscopy, and HPLC. HCA was converted into a stable calcium salt for quantitative determination.

Results. Phytochemical screening of the aqueous extract confirmed the presence of phenolic compounds, flavonoids, alkaloids, saponins, and steroids. The HCA fraction was isolated using silica gel column chromatography. The structural identity of the compound ($C_6H_8O_8$, MW = 208.12 g/mol) was confirmed by a complex of spectral methods: the IR spectrum showed characteristic O–H (~3448 cm^{-1}) and C=O (~1596 cm^{-1}) bands ; mass spectrometry recorded the molecular ion at m/z = 208.1012; NMR spectra confirmed the proton distribution of carboxyl and hydroxyl groups. Due to the instability of the free acid, it was converted into calcium hydroxycitrate, which exhibits higher bioavailability and thermal stability. UV spectrophotometry of the salt in methanol (195–240 nm) showed a specific maximum consistent with the reference standard. The developed HPLC method with gradient elution allowed for clear resolution between HCA and citric acid (relative retention ≈ 1.3), which is critical for dietary supplement standardisation. The pharmacological effect of HCA is based on the competitive inhibition of ATP-citrate lyase, which blocks de novo fatty acid synthesis and stimulates serotonin synthesis for appetite control. An optimal regimen was established: up to 1500 mg per day, 30 minutes before meals. The results comply with FDA and international standards regarding active ingredient content (not less than 50-60%).

Conclusions. The applied integrated physicochemical methods allowed for the unambiguous identification and quantitative evaluation of HCA in Garcinia cambogia extract. The obtained stable calcium salt is a promising raw material for the production of effective nutraceuticals.

References

1. Ghulaxe C., Barde L. N. Isolation and Characterisation of Hydroxy Citric Acid from the Fruit Extract Garcinia cambogia. *Journal of Chemical Health Risks*. 2023.
2. Baky M.H., Fahmy H., Farag M.A. Recent Advances in Garcinia cambogia Nutraceuticals in Relation to Its Hydroxy Citric Acid Level. *Journal of Chemical Health Risks*. 2023.
3. Lee H.-J., Na Y.-G., Han M. et al. Statistical Design of Sustained-Release Tablet of Garcinia cambogia Extract and Bioconverted Mulberry Leaf Extract for Anti-Obesity. *Pharmaceutics.* 2020.

About natural modulators for cholesterol absorption

Diana Smiian, Galyna Bila
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. High dietary cholesterol intake is a significant contributor to the global rise in cardiovascular and metabolic diseases. While the body maintains cholesterol homeostasis through complex pathways, the gastrointestinal absorption of dietary cholesterol remains a key point for intervention. Dietary fibers, specifically cell wall materials (CWMs) from fruits and vegetables, have shown potential in interfering with this process. This study investigates the physicochemical interactions between various CWMs and cholesterol in simulated gastric and intestinal environments, while also evaluating the biological consequences of these interactions in a living organism.

Materials and Methods. The study involved the extraction of cell wall materials from eight common fruits and vegetables: apple, broccoli, cabbage, carrot, celery, cucumber, pear, and tomato. The extraction process used ethanol and lyophilization to maintain the natural porous structure of the plant cells. We analysed and systematised the sources of literature for the purpose of further use in scientific research.

Results. The experimental results demonstrated that apple and broccoli CWMs possessed the most superior binding capacities among all tested samples. The study identified that the primary mechanism of interaction is mechanical entrapment; the cholesterol molecules are physically sequestered within the micro-pores and fibrous network of the cell walls. This process is largely governed by the specific surface area and pore volume of the CWMs rather than chemical bonding. In the mouse model, the intake of apple CWM led to a dose-dependent reduction in metabolic markers. Specifically, total serum cholesterol and LDL-C levels were significantly lowered. In the liver, cholesterol accumulation was reduced by up to 32% in the high-dose group, effectively preventing hepatic steatosis. Furthermore, the CWMs acted as a barrier to absorption, which was confirmed by a significant increase in fecal cholesterol excretion. Finally, the treatment positively altered the gut microbiome by increasing the population of Lactobacillus and reducing the Firmicutes/Bacteroidetes ratio, which is associated with improved metabolic health and reduced inflammation.

Conclusions. The research concludes that fruit and vegetable cell wall materials, particularly those from apples, function as effective biological sponges that trap dietary cholesterol and prevent its absorption. By enhancing cholesterol excretion and optimizing the gut microbiota, these materials offer a natural and potent defense against the complications of high-cholesterol diets. These findings reinforce the clinical value of high-fiber fruit and vegetable consumption as a foundational strategy for cardiovascular protection and the management of lipid metabolism disorders.

References

1. Sun, Y. M., Manickam, S., Flores, E. M. M., Shi, Y. N., Wu, Y., Han, Y. B., & Tao, Y. (2026). Binding of fruit and vegetable cell wall materials to dietary cholesterol in the gastrointestinal fluid reduces cholesterol bioaccessibility: mass transfer mechanism and metabolic benefits. *Food Bioscience*, 78, 108602.

Порівняльна оцінка антиоксидантної стабільності рослинних олій та олії розторопші

Тетяна Рикун, Олена Подобій
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Одним із ключових факторів, що визначають якість та безпечність рослинних олій, є їхня стійкість до окиснення під час зберігання. Окиснювальна стабільність безпосередньо впливає на термін придатності продукції та можливість її використання у харчових технологіях. Окиснювальні процеси призводять до утворення первинних і вторинних продуктів окиснення, що негативно впливають на органолептичні властивості та харчову цінність продукту. Інтенсивність цих процесів залежить від жирнокислотного складу, наявності природних антиоксидантів, умов зберігання та ступеня технологічної обробки.

Для оцінки якості та антиоксидантної стабільності олій широко застосовують фізико-хімічні показники, зокрема кислотне число (КЧ), що характеризує ступінь гідролітичного псування; пероксидне число (ПЧ), яке відображає накопичення первинних продуктів окиснення [1]; та йодне число (ЙЧ), що визначає рівень ненасиченості жирних кислот і, відповідно, схильність до окиснення [3]. Комплексне використання цих показників дозволяє об'єктивно оцінити якість та стабільність олій.

Особливу увагу в роботі приділено олії розторопші (Silybum marianum), яка характеризується високим вмістом біологічно активних сполук, зокрема поліфенолів і токоферолів, та має виражені антиоксидантні властивості.

Матеріали та методи. У роботі проведено аналітичний огляд наукової літератури та експериментальне дослідження фізико-хімічних показників рослинних олій. Такий підхід дозволяє поєднати теоретичні дані з практичними результатами досліджень.

Об'єктами дослідження були п'ять зразків: олія розторопші нерафінована (№1); обліпихова нерафінована (№2); соняшникова рафінована (№3); соєва нерафінована (№4); ріпакова нерафінована (№5).

Визначення кислотного числа здійснювали відповідно до ДСТУ 4350:2004, що дозволяє оцінити вміст вільних жирних кислот як показник гідролітичного розкладу. Цей показник є важливим критерієм свіжості олій. Пероксидне число визначали за ДСТУ 4570:2006, що характеризує вміст гідропероксидів як первинних продуктів окиснення. Йодне число визначали за ДСТУ 4569:2006 для оцінки ступеня ненасиченості жирнокислотного складу.

Результати. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що кислотне число досліджуваних олій варіювалося в межах 0,10–3,04 мг КОН/г. Отримані значення відповідають допустимим нормативним показникам для харчових олій. Найменше значення характерне для рафінованої соняшникової олії (0,10 мг КОН/г), що свідчить про її високу ступінь очищення та мінімальний вміст вільних жирних кислот. Найвище значення зафіксовано для ріпакової олії (3,04 мг КОН/г), що може бути пов'язано з умовами зберігання або особливостями сировини. Для олії розторопші кислотне число становило 1,28 мг КОН/г, що відповідає допустимим нормам та свідчить про її задовільну якість.

Пероксидне число знаходилося в межах 0,37–9,69 ммоль ½O_2/кг. Цей показник є індикатором початкових стадій окиснення ліпідів. Найменше значення виявлено у соняшниковій рафінованій олії (0,37 ммоль ½O_2/кг), що підтверджує її високу окисну стабільність. Найвищі значення встановлено для обліпихової (9,69 ммоль ½O_2/кг) та олії розторопші (8,36 ммоль ½O_2/кг), що свідчить про інтенсивні первинні

окиснювальні процеси. Це може бути зумовлено високим вмістом поліненасичених жирних кислот, які є більш схильними до автоокиснення [1].

Йодне число досліджуваних олій становило 111,95–135,81 г I_2/100 г. Воно прямо корелює зі ступенем ненасиченості жирнокислотного складу. Найвище значення характерне для соняшникової олії (135,81 г I_2/100 г), що свідчить про високий вміст ненасичених жирних кислот. Найнижче значення встановлено для ріпакової олії (111,95 г I_2/100 г). Олія розторопші мала значення 124,56 г I_2/100 г, що підтверджує її значну біологічну цінність, але водночас вказує на потенційну схильність до окиснення [2].

Результати порівняння фізико-хімічних показників наведено на рисунку 1.

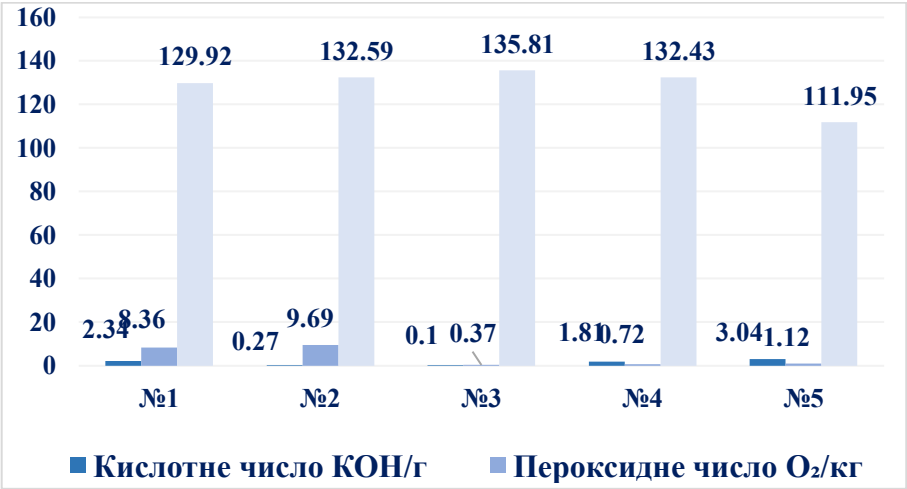


Рисунок 1 - Порівняння фізико-хімічних показників досліджуваних рослинних олій (зразки №1–5)

Висновки. За результатами лабораторних досліджень встановлено, що досліджувані зразки олій відрізняються за фізико-хімічними показниками залежно від їхнього походження та ступеня технологічної обробки. Рафінована соняшникова олія (зразок №3) характеризується високою стабільністю до окиснення та свіжістю, що зумовлено технологічною обробкою, яка сприяє зниженню вмісту вільних жирних кислот і пероксидів. Олія розторопші (зразок №1) відзначається високим вмістом біологічно активних речовин і поліненасичених жирних кислот, про що свідчить йодне число 124,56 г I_2/100 г, тому вона є перспективною сировиною для функціональних харчових продуктів і дієтичних добавок.

Література

1. Bakhmach V. O., Tanchyk R. S. Study of the dynamics of oxidation of vegetable oils to prolong the storage. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2025. Vol. 33, № 2, pp. 493–499.

2. Kamińska W., Grygier A., Rzyska-Szczupak K., Przybylska-Balcerek A., Stuper-Szablewska K., Neunert G. Nutritional Quality, Fatty Acids Profile, and Phytochemical Composition of Unconventional Vegetable Oils. *Molecules*. 2025. Vol. 30, № 15, Art. 3269.

3. Rabiej-Kozioł D., Momot-Ruppert M., Stawicka B., Szydłowska-Czerniak A. Health Benefits, Antioxidant Activity and Sensory Attributes of Selected Cold-Pressed Oils. *Molecules.* 2023. Vol. 28, № 14, Art. 5484.

Перспектива використання шампуню з ефектом холодного відновлення

Надія Магден, Олена Подобій
Національний університет харчових технологій, м Київ, Україна

Вступ. Станом на сьогоднішній день волосяне волокно все частіше піддається різним типам ушкоджень: механічним (тертя, розчісування), хімічним (фарбування, освітлення, релаксери) та термічним (фени, праски, сонце). З огляду на те, що стрижень волосся — це переважно кератиновий білок (кутикула й кортикальні структури), доцільно розробляти засоби, що поєднують очищення і м'яке відновлення без нагріву ("*cold recovery*"). Перспективним є використання засобів для холодного відновлення волосся, а саме шампуню [1].

Матеріали та методи дослідження. Методи аналітичного огляду науково-технічної літератури та математичного моделювання рецептури засобу. Пошук активів та розробка засобу, що дозволить поліпшити стан волосся без застосування термічних методів та забезпечить проникнення у волосся при кімнатній температурі.

Результати. Зважаючи на сучасні тенденції у догляді за волоссям, все більше людей обирають «cold recovery» для відновлення його здоров'я та привабливого вигляду. Така процедура допомагає підтримувати природний рівень зволоження, зміцнює волосся та надає йому доглянутого вигляду. Особливо доцільно застосовувати її для сухого, пошкодженого або фарбованого волосся, оскільки вона сприяє відновленню його структури та покращенню загального стану.

Холодне відновлення є процедурою, що проводиться без використання термічного впливу та спрямована на досягнення комплексного ефекту: зволоження, зменшення пористості, реконструкції внутрішньої структури волосся та заповнення мікропошкоджень. На відміну від гарячих методик, які працюють за рахунок запаювання кутикули, холодні способи діють глибше, оскільки базуються на використанні низькомолекулярних компонентів, здатних проникати в кортекс без термічного розкриття лусочок.

Основними активними компонентами формули є гідролізат ламінарії та гідролізат протеїнів пшениці. Пептиди та амінокислоти пшениці адсорбуються на поверхні кутикули, а частково, залежно від молекулярної маси, проникають усередину волосини, формуючи тонку плівку, що знижує тертя та підвищує міцність волосся на розрив, особливо у пошкодженому, освітленому або термічно обробленому волоссі. Для низько- і високомолекулярних фракцій характерний різний ефект: менші фракції краще забезпечують зволоження та об'єм, а більші дають поверхневе відновлення і згладження кутикули [2].

Одними з найважливіших компонентів у відновленні волосся є амінокислоти. Саме вони проникають у волосяне волокно та компенсують втрату фрагментів кератину, покращуючи стан волосся.

Гідролізат ламінарії містить полісахариди бурих водоростей, зокрема фукоїдан і ламінарин, які мають антиоксидантні та протизапальні властивості, сприяють утриманню вологи та зменшують оксидативний стрес, що супроводжує термічне та УФ-пошкодження волосся і шкіри голови. Завдяки цьому морські біополімери вважаються перспективними компонентами засобів для догляду за волоссям [3]. Розроблений шампунь із системою «cold recovery» забезпечує не лише ефективне очищення шкіри голови та волосся від себуму, пилу та залишків стайлінгових засобів, але й виконує функцію м'якого догляду за довжиною волосся. Очищувальна основа засобу поєднує поверхнево-активні речовини різної природи, що дозволяє делікатно

видаляти забруднення без надмірного знежирення. Додатково до складу введено кондиціонуючі компоненти, зокрема катіонні полімери та катіонний гуар, які утворюють на поверхні волосини тонку захисну плівку, зменшуючи тертя між волокнами, полегшуючи розчісування та надаючи волоссю м'якості й гладкості.

Водночас активні компоненти рецептури сприяють відновленню та живленню волосся по всій довжині. Гідролізат протеїнів пшениці та гідролізат ламінарії насичують волосяне волокно амінокислотами, пептидами та полісахаридами, що допомагають відновлювати пошкоджені ділянки кутикули, зменшувати пористість і покращувати здатність волосся утримувати вологу. Додатково до складу введено пантенол, β-глюкан та рослинні олії, які забезпечують зволожувальну, антиоксидантну та пом'якшувальну дію, підвищують еластичність волосся та надають йому природного блиску. Завдяки поєднанню очищувальних і відновлювальних компонентів шампунь не лише видаляє забруднення, але й сприяє покращенню загального стану волосся, що є важливим для систем холодного відновлення [3].

Висновки.

Слід зазначити, що спільно білково-пептидні фракції пшениці і полісахариди ламінарії обґрунтовують перспективність складу шампуню з "*cold recovery*" як засобу, що одночасно ефективно очищує та насичує волосся.

Не всі засоби однаково ефективні: якісний результат забезпечує правильно підібрана система з підходом.

Література

1. Fernandes, C., Medronho, B., Alves, L., & Rasteiro, M. G. (2023). On Hair Care Physicochemistry: From Structure and Degradation to Novel Biobased Conditioning Agents. *Polymers*, *15*(3), 608.
2. Labedzka, M., Stimpson, S., Varcin, M., Grant-Ross, P., & Tamburic, S. (2014). An ex vivo comparative study of the tensile strengthening efficacy of protein-derived actives on heavily bleached hair. URL: https://ualresearchonline.arts.ac.uk/id/eprint/8358/1/141002_IFSCC_Paris_2014_Maria_and_Sophie.pdf (Last accessed: 13.04.2026).
3. El-Beltagi H.S. et al. Phytochemical and Potential Properties of Seaweeds and Their Applications: A Review. 2022 May 24

Дослідження та розробка рецептури міцелярної води для обличчя та зони декольте з стовбуровими клітинами канабісу

Бойко Валерія, Романова Олеся, Біла Галина
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасне очищення шкіри трансформувалося у ритуал, що поєднує гігієну, підтримку здоров'я та покращення емоційного стану. На фоні конкуренції світових і українських брендів особливої актуальності набуває нейрокосметика, яка протидіє «стресовому старінню». Механізм дії нейрокосметики пов'язаний із нейропептидами — хімічними месенджерами, що забезпечують зв'язок між шкірою та нервовою системою. Активні компоненти взаємодіють із рецепторами нервових закінчень у шкірі, впливаючи на вивільнення таких речовин, як субстанція Р, дофамін і бета-ендорфіни [1]. У результаті мозок отримує сигнали, що асоціюються зі станом фізіологічного комфорту, що сприяє зниженню рівня стресу та запальних процесів у шкірі, а косметичний засіб виступає медіатором між зовнішнім середовищем і психоемоційним станом людини [2].

Матеріали і методи. Проведено аналітичний огляд літератури, аналіз властивостей стовбурових клітин канабісу та розроблена рецептура міцелярної води для зони декольте та обличчя.

Результати. *Kannabia Sense* - представник напрямку "нейрокосметики", передовий біотехнологічний компонент із стовбурових клітин Cannabis sativa. Механізм дії активу базується на здатності стовбурових клітин канабісу стимулювати природну мікрофлору шкіри до вироблення специфічного постбіотичного комплексу. Ця суміш виступає тригером для синтезу локального окситоцину, що забезпечує системне відчуття комфорту та візуально транслюється у здоровий, сяючий вигляд шкіри. Завдяки активації відповідних нейронних центрів через шкірні рецептори, актив імітує дію окситоцину «гормону щастя», реалізуючи глибокий нейрокосметичний ефект у межах концепції зв'язку шкіри та мозку [3, 4].

Kannabia Sense не є наркотичним засобом, не містять канабідіолу (CBD) і тетрагідроканабінолу (THC), що робить його повністю легальним і безпечним для використання у косметиці [5].

Було розроблено рецептуру міцелярної води з різним вмістом стовбурових клітин канабісу (контрольний зразок без активу, 0,5%, 2,0% та 4,0%), а також досліджено властивості розробленого косметичного засобу.

У таблиці наведено результати оцінки органолептичних та фізико-хімічних показників якості розроблених зразків міцелярної води для обличчя та зони декольте. Оцінювання проводила експертна група з 7 осіб, які тестували зразки протягом 10 днів.

За результатами експерименту голоси учасників розподілилися наступним чином: зразок №2 (2,0% Kannabia Sense) як оптимальний за балансом очищення та комфорту обрали 5 учасників (72%); зразок №3 (4,0%) мав виражений заспокійливий ефект, але неприємне відчуття липкості після нанесення, був обраний 14% учасників; зразок №1 (0,5%) мав легку текстуру, був обравний 14 % учасників.

Критерій (оцінка 1-5)	**Зразок №0 (0%)**	**Зразок №1 (0,5%)**	**Зразок №2 (2,0%)**	**Зразок №3 (4,0%)**
Якість очищення	5	5	5	4
М'якість дії	3	4	5	5
Відсутність стягнутості	2	4	5	5
Відчуття липкості	0	0	0	3
Відчуття комфорту (нейро-ефект)	1	2	5	4
Бажання купити продукт	2	3	5	3
Зовнішній вигляд	Прозора безбарвна рідина	Прозора безбарвна рідина	Прозора безбарвна рідина	Легка опалесцентна рідина
Запах	Відсутній	Відсутній	Майже невідчутний	Слабкий трав'янистий
pH	7,5	7,3	6,7	6,4

Показники pH у всіх зразках перевищують необхідний рівень 5,5, але ми не орієнтуємося на ці значення, оскільки в готовому продукті він регулюється додаванням молочної кислоти.

Висновки. Найкращим виявився зразок з вмістом 2,0% Kannabia Sense, який забезпечує оптимальний нейрокосметичний ефект і комфорт без погіршення естетичних властивостей. Відсутність вибору контрольного зразка підтверджує доцільність використання нейрокомпонентів.

Література

1. Neuronal Control of Skin Function: The Skin as a Neuroendocrine Organ. D. Roosterman et al. *Physiological Reviews*. 2006. Vol. 86, No. 4. P. 1309–1379.

2. Choi J. E., Koo J. Y. Psychosomatic Relationships in Skin Diseases. *Journal of Dermatology*. 2010. Vol. 37, No. 1. P. 5–15.

3. Kannabia Sense: опис активного компонента. Magical Ariya : інтернет-магазин інгредієнтів. URL: https://magical-ariya.com.ua/kannabia-sense/. (дата звернення: 12.03.2026)

4. Kannabia Sense™: The Microbiota Whisperer. Technical Presentation. Vytrus Biotech. 2024. 66 p. Mode of access: P-KANNABIA-SENSE™_EN_v24_01-1.pdf.

5. Kannabia Sense: The microbiome-skin-brain connection. Vytrus Biotech : офіц. сайт. URL: https://www.vytrus.com/natural-active/kannabia-sense/ (дата звернення: 13.03.2026)

Розробка інноваційної дієтичної добавки на основі прополісу

Олександр Косовець, Тетяна Бойчук
Національний університет харчових технологій, Київ,Україна

Вступ. Ринок України перенасичений дієтичними добавками, що зумовлено екологічними проблемами та незбалансованим харчуванням.

Особливої уваги заслуговує прополіс із його вираженими корисними властивостями, проте в Україні ніша добавок на його основі поки що слаборозвинена.

Матеріали та методи. Метою дослідження було розробити склад готового продукту Дієтична добавка "Прополіс Актив", розробка виконувалась з використанням обладнанням таблетпрес, вібросито, змішувач V-подібний), сама таблетка пройшла ряд фармако-технологічних випробувань.

Результати. Пероральний шлях введення залишається найзручнішим та найбільш прийнятним способом відпуску або введення більшості ліків у вигляді таблеток або капсул пацієнтам, як молодим, так і літнім.

Доза активного інгредієнта в найпоширеніших таблетках варіює в широких межах, тобто від кількох мікрограмів до сотень міліграмів, тоді як таблетки вагою від кількох міліграмів до приблизно 1500 мг зазвичай виробляються для продажу.

Наш вибір впав на жувальні таблетки які набувають популярності серед дітей та спортсменів і літніх людей . Рекомендація: Приймати по 1 таблетці 1-2 рази на день для підвищення енергії, тонусу та підтримки імунітету.

Розглянемо на які стадії поділяється процес:

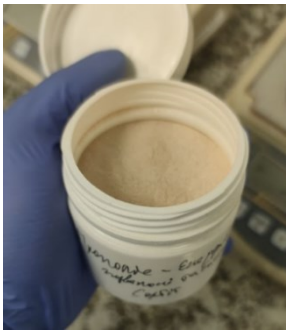
1. Підготовка сировини (просіювання) один із важливих етапів самого процесу.

Забезпечення однорідності гранулометричного складу всіх компонентів, видалення випадкових механічних домішок та агломератів.

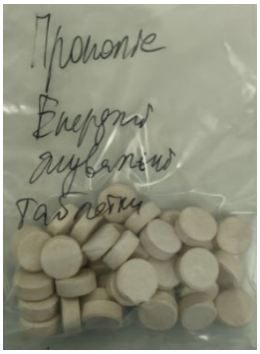
2. Змішування компонентів. Отримання однорідної суміші для таблетування із заданим вмістом діючої речовини.

3. Опудрення. Покращення текучості та пресувальних властивостей суміші, запобігання розшаруванню та підлипання на пуансонах для прополісу, який має певну липкість, ця стадія є критично важливою.

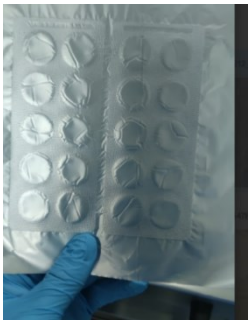
4. Таблетування. Отримання таблеток заданої форми, маси та твердості.(120-140 Н)



Готова маса для таблетування



Готові таблетки по 1000 мг



Таблетки в блістері

Рисунок 1 – Етапи проведеного дослідження

5. Обеспилення (знепилення) готових таблеток. Видалення пилоподібної фракції з поверхні таблеток для покращення товарного вигляду та запобігання злипанню у блістері.
6. Первинне пакування (блістерування). Захист таблеток від вологи, світла та механічних пошкоджень, надання товарного вигляду.

Після виготовлення таблеток було перевірено їх стабільність на фармако-технологічних випробуваннях.

Вологість таблетки - 1.83 %

Стираність: $X = (m_{поч.} - m_{кінц.})/m_{поч.} * 100\% = 0.55\%$

Таблиця 1 - Склад дієтичної добавки “Прополіс Енерджі “

Компонент	**Кількість на 1 таблетку (мг)**	**Кількість на 100 г продукції (г)**
Екстракт прополісу	232,00	23,20
Сорбіт	522,05	52,21
Аскорбінова к-та	100,00	10,00
Л-Карнітин	50,00	5,00
Вітамін Е 50% сухий	40,00	4,00
Оксид цинку	6,25	0,63
Аспартам	15,00	1,50
Ацесульфам Калію	8,00	0,80
Кремнію діоксид	5,00	0,50
Стеарат магнію	10,00	1,00
Натуральний ароматизатор “Апельсин”	10,70	1,07
Всього:	1000,00	100,00

Висновки. Таблетки жувальні, за даними фокус-групи, виявилися приємними на смак, що дає їм в майбутньому можливість конкурувати на ринку України та за кордоном за участю інвесторів або інших зацікавлених осіб.

Література

1. Parikh D. M. Handbook of Pharmaceutical Granulation Technology. Taylor & Francis Group, 2016. 676с.

Молекулярні механізми розгладжування мікрорельєфу шкіри під впливом холекальциферолу (D3)

Бєлєй Богдан, Бойчук Тетяна
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Мікрорельєф шкіри — це не просто її зовнішній вигляд, а справжня «карта» здоров'я нашого організму. Коли ми бачимо гладку та сяючу шкіру, це означає, що всі процеси всередині працюють як годинник. Проте з віком або через стрес цей механізм збивається: з'являється шорсткість, дрібні зморшки та тьмяність. Один із головних «регуляторів», які відповідають за порядок на поверхні шкіри, є холекальциферол (вітамін D3) [1].

Шкіра — це єдиний орган в нашому тілі, який здатний не тільки отримувати вітамін D, а й самостійно його виробляти та відразу використовувати для своїх потреб [2]. Холекальциферол діє як активний секостероїдний гормон через специфічні рецептори (VDR) у клітинах епідермісу. Ця взаємодія регулює життєвий цикл кератиноцитів, забезпечуючи їх вчасне оновлення та правильне дозрівання [1, 2].

При дефіциті вітаміну D3 процеси диференціювання клітин уповільнюються, що призводить до накопичення ороговілих лусочок та формування шорсткого мікрорельєфу. Крім того, порушується синтез захисних ліпідів, через що шкіра втрачає вологу та вкривається сіткою дрібних зморшок. Розуміння цих молекулярних механізмів дозволяє відновлювати гладкість шкіри на рівні клітинного метаболізму, забезпечуючи стійкий регенеративний ефект [3].

Матеріали і методи. Проведено аналітичний огляд літератури, аналіз властивостей холекальциферолу (D3) та розроблена рецептура крему для обличчя з ефекторм розглажування зморшок.

Результати. Холекальциферол (вітамін D3) у поєднанні з L-проліном демонструє комплексний вплив на структурні та функціональні характеристики епідермісу: регуляторну, регенеративну, зволожувальну та виражену антивікову дію. Використання даного активу активує оновлення кератиноцитів через рецептори VDR, що сприяє розгладжуванню мікрорельєфу, усуненню шорсткості та відновленню природного сяйва шкіри. L-пролін, як основний субстрат для синтезу колагену, підсилює каркасну функцію дерми та сприяє зменшенню глибини зморшок [3].

Було розроблено рецептуру антивікового крему для обличчя з холекальциферолом та проліном. Вітамін D3 вводився в жирну фазу при температурі не вище 40°C (0,5–1%) для збереження його біологічної активності, а пролін — у водну фазу. Дана комбінація допомагає зменшити втрату вологи, усунути дрібні зморшоки та відчуття сухості, що особливо актуально для вікової шкіри.

Отримані зразки мали стабільну текстуру, легку консистенцію та виражений ефект пом'якшення. Оптимальним за органолептичними показниками та впливом на мікрорельєф виявився зразок з 0,5 % холекальциферолу та 2 % проліну; зразок з вищою концентрацією вітаміну D3 (1 %) при тривалому використанні вимагав додаткового контролю жирності фази. Показник pH зразків становив 5,4–5,6, що відповідає фізіологічній нормі та забезпечує комфортне сприйняття засобу шкірою.

Література

1. Bikle, D. D. (2021). Vitamin D and the skin: Physiology and pathophysiology. Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders, 22(4), 1015-1028.
2. Mostafa, W. Z., & Hegazy, R. A. (2015). Vitamin D and the skin: Focus on a complex relationship: A review. *Journal of Advanced Research*, 6(6), 793-804.
3. Piotrowska, A., et al. (2016). Vitamin D in the skin physiology and pathology. *Acta Biochimica Polonica*, 63(1), 17-29.

Неорганічні пігменти у технології пудри з сонцезахисним ефектом

Владислав Коломієць, Ігор Фесич
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Ультрафіолетове випромінювання є одним із провідних екзогенних чинників фотостаріння та пошкодження шкіри, тому розроблення косметичних засобів, здатних поєднувати декоративні та фотозахисні властивості, є актуальним напрямом сучасної косметичної технології. Однією з перспективних форм є пудра із сонцезахисним ефектом, яка забезпечує зручність нанесення, матувальну дію та можливість поєднання щоденного догляду з УФ-захистом. Особливе місце у складі таких засобів займають неорганічні пігменти, зокрема діоксид титану, оксид цинку та оксиди заліза. Вони характеризуються високою хімічною стабільністю, фотостійкістю, належною покривною здатністю та здатністю розсіювати і відбивати ультрафіолетове випромінювання. Крім фотозахисної функції, ці компоненти впливають на колір, текстуру, однорідність і загальні споживчі властивості пудри. Актуальність теми зумовлена необхідністю наукового обґрунтування вибору неорганічних пігментів для створення стабільних і безпечних косметичних засобів із заданими функціональними характеристиками [1].

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження були наукові публікації та аналітичні джерела, присвячені рецептурам пудрових косметичних засобів із сонцезахисними властивостями, а також особливостям застосування неорганічних пігментів у декоративній косметиці. У роботі використано методи аналізу літературних джерел, узагальнення, порівняння та систематизації даних щодо впливу оксидних пігментів на SPF, органолептичні показники та технологічні характеристики пудри. Окрему увагу приділено діоксиду титану як одному з найбільш ефективних мінеральних УФ-фільтрів.

Результати та обговорення. Встановлено, що неорганічні пігменти є важливими функціональними компонентами пудри із сонцезахисним ефектом. Діоксид титану забезпечує ефективне розсіювання та відбивання УФ-випромінювання, завдяки чому сприяє підвищенню сонцезахисної здатності косметичного засобу. Водночас його введення до рецептури впливає на покривну здатність, однорідність, текстуру та зовнішній вигляд готової пудри.

За даними опрацьованих джерел, підвищення вмісту діоксиду титану в компактній пудрі супроводжується зростанням показника SPF. Зокрема, найкращі результати продемонструвала формула, що містила 25 % діоксиду титану: вона характеризувалася належними фізичними властивостями та досягала SPF 15,06 [2]. Це підтверджує перспективність використання діоксиду титану у складі пудрових продуктів, орієнтованих на щоденний захист шкіри від ультрафіолетового випромінювання.

Разом із цим у сучасних дослідженнях показано, що ефективність пудрових сонцезахисних засобів може бути посилена за рахунок оптимізації дисперсності частинок, поєднання неорганічних пігментів між собою та створення композитних порошкових систем, здатних забезпечувати широкий спектр захисту, зокрема в UVA-діапазоні, а також покращені сенсорні й оптичні властивості продукту [3].

Висновки. Неорганічні пігменти є перспективними інгредієнтами у технології пудри із сонцезахисним ефектом, оскільки поєднують декоративні та фотозахисні властивості. Найбільш значущим серед них є діоксид титану, який забезпечує підвищення SPF і позитивно впливає на фізичні характеристики готового засобу. Отримані узагальнення результатів підтверджують доцільність його використання у складі компактних пудрових форм для щоденного догляду за шкірою. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію рецептури, підбір концентрацій пігментів і вдосконалення дисперсних систем для забезпечення стабільності, безпечності та високих споживчих властивостей продукту.

Література

1. Ergin N., Suvaci E. Advanced metal oxide powders for cosmetic science. *Open Ceramics*. 2025. Vol. 23. Article 100832. DOI: 10.1016/j.oceram.2025.100832.
2. Muliadi R., Aspadiah V., Sahumena M. H., Aftira N. Sunscreen Innovation: Development of a Water-Resistant Compact Powder Formula Based on Titanium Dioxide for Optimal UV Protection. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*. 2025. Vol. 8, No. 3. P. 1442-1451. DOI: 10.36490/journal-jps.com.v8i3.961.

Toyoda N., Asano H., Okadera T., Onishi T. Development of Composite Powders for UV-A Protection and Improvement in Dullness of the Skin. *Journal of Society of Cosmetic Chemists of Japan*. 2020. Vol. 54, No. 3. P. 245-251. DOI: 10.5107/sccj.54.245.

Порівняльна характеристика фізико-хімічних методів аналізу куркуміну в дієтичних добавках

Артур Афанасьєв, Олена Подобій
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасних умовах розвитку харчових технологій та нутрицевтики особлива увага приділяється створенню дієтичних добавок із високим вмістом біологічно активних речовин природного походження. Особливе місце серед них займає куркумін — природний поліфенольний пігмент, що міститься в кореневищах *Curcuma longa* та характеризується широким спектром біологічної дії. Куркумін відомий своїми антиоксидантними, протизапальними, імуномодулюючими та потенційно нейропротекторними властивостями, що обумовлює його широке застосування у складі дієтичних добавок, функціональних харчових продуктів і фармацевтичних препаратів [1] .

У зв'язку з широким використанням куркуміну у складі дієтичних добавок постає важливе завдання контролю його якості, кількісного вмісту та стабільності. Особливу складність становить той факт, що куркумін може піддаватися деградації під впливом світла, температури та pH середовища. Саме тому застосування сучасних аналітичних методів для його дослідження є актуальним і необхідним для забезпечення безпечності та ефективності кінцевої продукції.

Матеріали і методи. Сучасна аналітична хімія пропонує широкий спектр фізико-хімічних методів для якісного та кількісного визначення біологічно активних речовин, зокрема куркуміну. До них належать спектральні методи аналізу, хроматографічні методи, а також класичні хімічні методи ідентифікації. Кожен із зазначених методів має свої переваги та обмеження, що зумовлює необхідність їх порівняльного аналізу та обґрунтованого вибору залежно від складу об'єкта дослідження і поставлених аналітичних завдань [2].

У роботі проведено узагальнення та аналіз сучасних літературних джерел щодо методів визначення куркуміну у складі дієтичних добавок. Основну увагу приділено фізико-хімічним методам аналізу, зокрема: високоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ); тонкошаровій хроматографії (ТСХ); ультрафіолетовій (УФ) спектрофотометрії; інфрачервоній (ІЧ) спектроскопії.

Також розглянуто комбіновані підходи до аналізу, які дозволяють підвищити точність і достовірність результатів досліджень.

Результати. Проведений аналіз показав, що вибір методу дослідження куркуміну залежить від поставленої аналітичної задачі — якісного визначення, кількісного аналізу або встановлення структурних характеристик сполуки. Найбільш інформативним і точним методом є високоефективна рідинна хроматографія, яка забезпечує високу селективність, чутливість та відтворюваність результатів. ВЕРХ дозволяє не лише визначити концентрацію куркуміну, але й розділити його з іншими куркуміноїдами та домішками, що особливо важливо при аналізі складних матриць дієтичних добавок. Спектрофотометричні методи, зокрема УФ-спектроскопія, широко застосовуються завдяки простоті виконання, доступності обладнання та швидкості аналізу. Водночас вони мають обмежену селективність і можуть давати похибки у присутності супутніх речовин. Тонкошарова хроматографія є ефективним методом для попередньої ідентифікації куркуміну та оцінки чистоти зразків. Вона часто використовується як експрес-метод у лабораторній практиці. ІЧ-спектроскопія дозволяє підтвердити хімічну структуру куркуміну, визначити функціональні групи та

оцінити його стабільність. В експериментальній частині змодельовано процес визначення куркуміну в дієтичних добавках із використанням спектрофотометричного методу та методу ВЕРХ. Проведено обробку умовних експериментальних даних, побудовано калібрувальні залежності та здійснено порівняльний аналіз результатів, отриманих різними методами. Порівняння результатів визначення куркуміну спектрофотометричним методом та методом високоефективної рідинної хроматографії показало їх задовільну узгодженість. Невеликі відхилення між результатами пояснюються меншою селективністю спектрофотометричного методу та впливом матриці зразка, що підтверджує доцільність використання ВЕРХ як контрольного методу аналізу. Найбільш доцільним є комбіноване використання методів (наприклад, ВЕРХ + ІЧ або ВЕРХ + УФ), що дає можливість отримати повну аналітичну характеристику досліджуваної речовини.

Висновки. Проведено аналіз існуючих методів визначення куркуміну в дієтичних добавках, зокрема спектральних, хроматографічних та хімічних методів. Встановлено, що кожен із розглянутих методів має свої переваги та обмеження, а їх застосування повинно здійснюватися з урахуванням складу досліджуваного зразка та вимог до точності аналізу. Таким чином, сучасні фізико-хімічні методи аналізу забезпечують надійний контроль якості дієтичних добавок, що містять куркумін, і дозволяють гарантувати їх ефективність та безпечність для споживача.

Результати можуть бути використані при організації внутрішнього контролю якості на підприємствах харчової та фармацевтичної промисловості.

Література

1. Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017). Curcumin: A Review of Its Effects on Human Health. Foods, 6(10), 92. https://doi.org/10.3390/foods6100092

2. Hazra K, Kumar R, Sarkar BK, Chowdary YA, Devgan M, Ramaiah M: UV-Visible Spectrophotometric Estimation of Curcumin in Nanoformulation. Int J Pharmacognosy 2015; 2(3): 127-30. DOI: http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.IJP.2(3).127-30.

Обґрунтування рецептури дієтичної добавки з екстрактом артишоку для гепатопротекторного харчування

Юзва Марія, Подобій Олена
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сухий екстракт артишоку широко застосовується як активний інгредієнт у дієтичних добавках (ДД), лікарських засобах та функціональних харчових продуктах. Він сприяє нормалізації обміну речовин, покращенню функції печінки та травної системи.

Листя артишоку (Cynara scolymus L.) багате на фенольні сполуки, зокрема на похідні кофеоїлхінової кислоти та флавоноїди. Вміст цинарину зумовлює протисклеротичну, жовчогінну та сечогінну активність рослини. Аналогічні властивості мають і фенолокислоти: вони активізують утворення жовчі, підвищують діурез, збільшують кількість сечовини, що виводиться з організму, та регулюють функцію щитоподібної залози. Екстракт рекомендують вживати при захворюваннях печінки, діабеті, атеросклерозі, а також при інтоксикаціях [1].

Екстракт листя артишоку привертає значну наукову увагу завдяки високій концентрації біоактивних сполук, як хлорогенова кислота та лютеолін, які мають потужну антиоксидантну та гепатопротекторну дію [1].

Актуальність досліджень також зумовлена необхідністю наукового обґрунтування стандартизації екстрактів листя артишоку, оптимізації методів екстрагування та вивчення залежності між хімічним складом і біологічною активністю. Варіабельність вмісту активних речовин залежно від сировини, умов вирощування та технології отримання екстракту потребує поглиблених досліджень для забезпечення стабільної якості та ефективності фітопрепаратів [2].

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є технологія отримання дієтичної добавки на основі екстракту артишоку. У процесі роботи було проаналізовано літературні джерела та проведено розрахунки рецептурних компонентів для досягнення оптимального терапевтичного ефекту.

Результати. Екстракт листя артишоку (*Cynara scolymus L.*) демонструє комплексний вплив на функціональний стан гепатобіліарної системи, забезпечуючи гепатопротекторну, жовчогінну, антиоксидантну та детоксикаційну дію. Біологічно активні сполуки екстракту, зокрема цинарин і флавоноїди, сприяють стимуляції синтезу та відтоку жовчі, нормалізації ліпідного обміну та зниженню рівня оксидативного стресу. Крім того, активні компоненти артишоку підтримують функціональну активність гепатоцитів і сприяють відновленню клітин печінки [1]. Під час розробки рецептури дієтичної добавки було розглянуто варіанти з концентрацією екстракту від 300 до 600 мг. Встановлено, що оптимальним дозуванням, яке забезпечує стабільний лікувально-профілактичний ефект без надмірного навантаження на організм, є 400 мг на одну порцію. Така концентрація дозволяє ефективно знижувати рівень оксидативного стресу та підтримувати метаболічну активність гепатоцитів. Допоміжні компоненти підбирали з урахуванням підвищення біодоступності активних речовин та стабільності препарату. Така композиція сприяє покращенню травлення, зменшенню проявів диспепсії, нормалізації жирового обміну та підтримці детоксикаційної функції печінки. Форма випуску була обрана з урахуванням зручності споживання та стабільності активних компонентів. Отримані зразки характеризувалися стабільними фізико-хімічними показниками, однорідною структурою та задовільними органолептичними властивостями. Оптимальним за ефективністю та переносимістю виявився зразок із вмістом екстракту 400 мг на одну дозу. Зразки з вищою концентрацією (600 мг) при тривалому застосуванні потребували індивідуального підбору дози з огляду на можливий посилений жовчогінний ефект. Показники якості відповідали встановленим нормативним вимогам, що забезпечує безпечне та комфортне застосування добавки [2].

Висновки. Розроблена добавка стимулює жовчовиділення, знижує рівень холестерину в крові та сприяє регенерації клітин печінки. Препарат має виражену сечогінну та гіполіпідемічну дію, допомагає усунути відчуття переповнення шлунка та спазми. Також засіб сприяє виведенню з організму сечовини, креатиніну та ендогенних токсинів.

Література

1. Павлюк Ю. В. Розробка лікарського засобу на основі екстракту артишоку у формі таблеток гепатопротекторної та холеретичної дії / Ю. В. Павлюк, Г. В. Тарасенко // Технологічні та біофармацевтичні аспекти створення лікарських препаратів різної направленості дії : матеріали V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, м. Харків, 26 листопада 2020 року. Харків : Вид-во НФаУ, 2020. С. 359-366.

2. Masala V., Jokić S., Aladić K., Molnar M., Casula M., Tuberoso C. I. G.Chemical profiling and evaluation of antioxidant activity of artichoke (Cynara cardunculus var. scolymus) leaf by-products' extracts obtained with green extraction techniques // Molecules. 2024. Vol. 29. Article 4816. DOI: 10.3390/molecules29204816.

Перспективи використання зелених розчинників у процесах екстракції в контексті сталого розвитку

Алла Таволжан, Олена Подобій
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю заміни токсичних органічних розчинників у промисловості відповідно до екологічних стандартів ЄС та зниження викидів летких органічних сполук [1,2]. Метою роботи є визначення ефективності та екологічної доцільності використання зелених розчинників у процесах екстракції біологічно активних сполук з рослинної сировини.

Матеріали та методи. У роботі проведено аналіз результатів досліджень, об'єктами яких виступали біоетанол, вода, глибокі евтектичні розчинники (холінхлорид : сечовина 1 : 2) та іонні рідини. Як еталон порівняння в опрацьованих джерелах використовувався гексан. Розглядалися експериментальні дані, отримані в інтервалі температур 25–90 °C і тривалості 30–120 хв. Оцінка ефективності в першоджерелах здійснювалася за виходом екстракту (%), коефіцієнтом масопереносу та питомими енерговитратами. Екологічні показники в літературі визначалися за рівнем леткості, токсичності та біорозкладності [3, 4]. Для обробки даних застосовано методи варіаційної статистики.

Результати. Аналіз літературних даних свідчить про значний вплив природи розчинника на ефективність екстракційних процесів. Використання гексану забезпечує найвищий вихід цільового продукту (97–98%) при температурі 40–60 °C, однак процес супроводжується значними втратами через випаровування та високою токсичністю екстрагента [3].

Біоетанол показав високу ефективність (92–95%) при температурі 55–65 °C і тривалості процесу 60–90 хв. При цьому коефіцієнт масопереносу становив 0,85–0,90, що лише незначно поступається гексану (0,92–0,95). Важливо, що застосування біоетанолу дозволяє знизити викиди летких органічних сполук на 60–70% та забезпечує майже повну біорозкладність розчинника.

Вода як екологічно безпечний розчинник забезпечує вихід 80–88% при температурі 80–90 °C і тривалості 90–120 хв. Однак її використання супроводжується збільшенням енерговитрат до 1,3–1,5 кВт·год/кг продукту, що на 25–35% більше порівняно з органічними розчинниками.

Глибокі евтектичні розчинники (DES) продемонстрували найкращий баланс між ефективністю та екологічністю. При температурі 50–70 °C та тривалості 60 хв досягнуто виходу 94–96%, а коефіцієнт масопереносу становив 0,88–0,93. Енерговитрати при цьому знижуються до 0,8–1,0 кВт·год/кг, що на 20–30% менше, ніж у випадку гексану. Крім того, ці розчинники характеризуються низькою леткістю та високою біорозкладністю (>80%) [1].

Іонні рідини забезпечують високу ефективність (до 95%), проте їх промислове застосування обмежене високою вартістю та складністю регенерації.

Порівняльний аналіз літературних даних дозволив визначити оптимальні умови проведення процесу: температура 60 °C, тривалість 60 хв та використання глибоких евтектичних розчинників. За цих умов досягається максимальний вихід продукту при мінімальних енерговитратах і зниженні екологічного навантаження.

Отримані дані узгоджуються з сучасними тенденціям розвитку хімічної промисловості в ЄС, де пріоритет надається використанню відновлюваних ресурсів, зниженню викидів та впровадженню принципів циркулярної економіки [2].

Використання зелених розчинників сприяє не лише екологічній безпеці, але й підвищенню економічної ефективності за рахунок зменшення витрат на очищення відходів та утилізацію небезпечних речовин.

Для України впровадження таких технологій є важливим етапом європейської інтеграції, оскільки дозволяє адаптувати виробництво до вимог міжнародних стандартів та підвищити конкурентоспроможність продукції на світовому ринку. Водночас необхідно враховувати економічні аспекти, зокрема витрати на модернізацію обладнання та впровадження нових технологій.

Висновки. Аналіз літературних даних показує, що застосування зелених розчинників забезпечує ефективність екстракції на рівні 80–96% при зниженні енерговитрат до 30% та суттєвому зменшенні екологічного впливу. Результати дослідження можуть бути використані при проектуванні енергоощадних екстракційних установок на підприємствах харчової та фармацевтичної галузей. Використання цих розчинників у промисловості сприятиме екологічній безпеці, адаптації до європейських стандартів та принципів циркулярної економіки.

Література

1. Anastas P. T., Warner J. C. *Green chemistry: theory and practice*. New York : Oxford University Press, 1998. 135 p.

2. European Commission. Chemicals strategy for sustainability: towards a toxic-free environment. Brussels, 2020. 24 p.

3. Clark J. H., Farmer T. J. Green solvents and their applications. *Green Chemistry*. 2018. Vol. 20, No. 5. P. 1035– 1060.

4. Smith E. L., Abbott A. P., Ryder K. S. Deep eutectic solvents and their applications. *Chemical Reviews*. 2014. Vol. 114, No. 21. P. 11060–11082.

Про деякі аспекти технології отримання екологічного безпечного пігменту на основі екстрактів дельфінідину для полімерних матеріалів

Олександра Дідковська, Ігор Фесич
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасному світі на сьогоднішній день безпечні барвники дуже важливі, бо все більше людей вимагає сталого розвитку і хоче менше синтетичних пігментів, які бруднять довкілля. Дельфінідин – це антоціан з рослин, який має сильну антиоксидантну дію, не втрачає кольору під світлом і розкладається в природі. Дельфінідин може стати хорошим натуральним пігментом. Метою цієї тези є розробка технології екстракції та стабілізації екстрактів дельфінідину з рослинних джерел для інтеграції в полімерні матеріали, забезпечують їхню безпечність і функціональність. Запропонований підхід дозволить створити альтернативу токсичним барвникам, сприяючи екологізації полімерної промисловості.

Матеріали і методи. У дослідженні використано аналіз сучасної вітчизняної та закордонної літератури щодо застосування комплексу методів, що дозволяють провести екстракцію пігменту дельфінідину з рослинної сировини.

Результати. Сировина у вигляді ягід чорниці містить дельфінідин як головний пігментний компонент. Спектрофотометричний аналіз сировини показав наявність антоціанів з типовим профілем поглинання. Екстракція спиртовим розчином з кислотою витягла пігмент ефективно. Розчин після екстракції мав інтенсивний синьо-фіолетовий колір. Фільтрація через папір очистила екстракт від осаду. Випарування розчинника сконцентрувало пігмент. Хроматографія на колонці розділила фракції та виділила чистий дельфінідин. Спектрофотометрія очищеної фракції підтвердила високу чистоту.

Для стабілізації пігмент змішали з мальтодекстрином. Емульгатор PEG покращив емульгування мікро капсул. Спрей-сушіння перетворило суспензію на сухий порошок. Порошок легко диспергувався в органічних розчинниках. При введенні в розплав поліетилену пігмент розподілився рівномірно. Отримані плівки мали однорідний колір по всій поверхні. Скануюча електронна мікроскопія плівок виявила дрібні пігментні частинки без скупчень. Розподіл частинок був однорідним у полімерній матриці.

Тест на нагрівання показав мінімальну зміну відтінку. Експозиція ультрафіолету викликала повільну деградацію кольору. Варіація pH від кислого до нейтрального не змінила спектр поглинання суттєво. Тести не виявила токсичності пігменту.

Висновки. Технологія екстракції та стабілізації дельфінідину забезпечує пігмент з високою стійкістю для полімерних матеріалів. Плівки показали рівномірне забарвлення та безпечність за тестами. Підхід сприяє екологізації промисловості.

Література

1. Giusti M.M., Wrolstad R.E. Anthocyanins. Characterization with UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001. P. F1.2.1-F1.2.13.
2. Бойко Н.І. Антоціани як натуральні барвники. *Науковий вісник НУХТ*. 2018. № 4. С. 45-53.
3. Kavalcova P. et al. Extraction, stability and colour properties of natural dyes. *Chemical Papers*. 2015. Vol. 69, № 9. P. 1199-1208.
4. Wallrauch S. et al. Stability of anthocyanins in polymer matrices. *Polymer Degradation and Stability*. 2017. Vol. 142. P. 1-10.

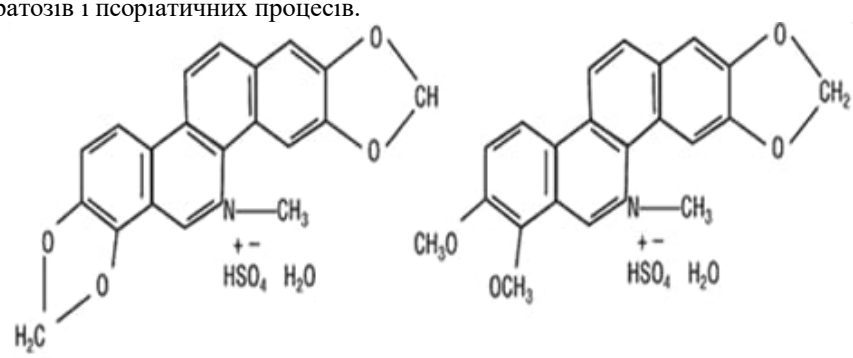
Потенціал використання чистотілу у косметичній галузі

Надія Мошак, Тетяна Бойчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Чистотіл звичайний (*Chelidonium majus* L.) протягом століть використовується в народній медицині для лікування шкірних захворювань. Сучасна косметична індустрія виявляє зростаючий інтерес до цієї рослини, намагаючись інтегрувати її біологічно активні компоненти у засоби догляду за шкірою та волоссям. Однак високий вміст алкалоїдів (сангвінарин, хелеритрин, берберин) зумовлює необхідність ретельної оцінки як ефективності, так і безпеки такого використання.

Матеріали та методи. У дослідженні виконано аналіз наукової літератури щодо чистотілу звичайного, його традиційне використання, фармакологічна дія та обмеженість.

Результати. Згідно з даними, опублікованими в PubMed, алкалоїди сангвінарин та хелеритрин є потужними інгібіторами ліпоксигеназ – ферментів, що відіграють ключову роль у каскаді запалення. Особливо важливим є спостереження, що екстракт трави *Chelidonium majus* виявляє цитостатичну, а не цитотоксичну дію на кератиноцити. Це означає, що він здатний пригнічувати надмірну проліферацію клітин шкіри, не викликаючи їх загибелі – властивість, перспективна для контролю гіперкератозів і псоріатичних процесів.



Сангвінарин

$C_{20}H_{14}NO_4$ HSO_4 H_2O

Хелеритрин

$C_{21}H_{18}NO_4$ HSO_4 H_2O

Історичні джерела та огляди свідчать про багатовіковий досвід застосування латексу чистотілу для виведення бородавок, лікування екземи, герпесу та інших уражень шкіри.

Екстракт чистотілу захищає клітини меланоми шкіри від цитотоксичності, спричиненої важкими металами, а також зменшує синтез меланіну та активність тирозинази, що підштовшує до думки, що чистотіл може розглядатися як перспективний ресурс для створення відбілюючих і захисних косметичних засобів.

Згідно літературних даних, головним обмеженням у застосуванні є висока токсичність алкалоїдів, здатність викликати мутації, подразнення та фотосенсибілізацію.

Стратегія безпечного використання має включати:

- глибоке очищення екстрактів від небажаних фракцій;

- стандартизацію за вмістом алкалоїдів;
- обов'язкове тестування на цитотоксичність і фототоксичність;
- чіткі попередження у складі косметичних продуктів.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на пошук таких технологічних рішень (інкапсуляція, біотрансформація), які дозволять реалізувати біологічну активність чистотілу з мінімальним ризиком для споживача.

Висновки. Потенційна користь чистотілу в косметиці підтверджується *in vitro* даними про його протизапальну, антиоксидантну, антимеланогенну та цитостатичну дію. Однак, клінічні докази ефективності обмежені, наявні лише окремі дослідження (на моделях псоріазу, атопічного дерматиту, пошкодження волосся), що демонструють перспективність його застосування.

Література

1. Vavrecková, C., Gawlik, I., & Müller, K. Benzophenanthridine alkaloids of Chelidonium majus; II. Potent inhibitory action against the growth of human keratinocytes. *Planta medica*, 1996, 62(6), 491–494..
2. Son Y.W., Oh S.K., Choi Y.R., Park S.H., Seo Y.M., Lee H.J., Jung I.J. Effects of Chelidonium majus Extract on Mercury-Induced Cytotoxicity and Melanogenesis. *Journal of Investigative Cosmetology* (대한미용학회지), 2013, 9(3): 239-245.
3. A. Sarkozi, G. Janicsak, L. Kursinszki, A. Kery. Alkaloid Composition of Chelidonium majus L. Studied by Different Chromatographic Techniques. Department of Pharmacognosy, Semmelweis University, Ulloi Str. 26, 1085 Budapest, Hungary. 2006, 63, S81–S86.
4. Sylwia Zielinska, Anna Jezierska-Domaradzka, Magdalena Wójciak-Kosior, Ireneusz Sowa, Adam Junka and Adam M. Matkowski. Greater Celandine's Ups and Downs-21 Centuries of Medicinal Uses of Chelidonium majus From the Viewpoint of Today's Pharmacology. 15 March 2018.

Можливості використання екстракту причепи в гелевих скрабах для обличчя

Оксана Зеленська, Олеся Романова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Череда (причепа) (*Bidens tripartita*)— традиційно використовувана рослина в фітотерапії, яка останнім часом набуває поширення в косметології завдяки високій концентрації біологічно активних речовин, а саме флавоноїдів, дубильних речовин та мінералізованих сполук [1,2].

Матеріали і методи. Проведено аналітичний огляд науково-технічної літератури стосовно можливості використання екстракту причепи в косметичних засобах, розроблено рецептуру гелевого скрабу для обличчя з даним екстрактом.

Результати. Екстракт причепи має цілий комплекс корисних косметичних властивостей: протизапальна, антиоксидантна, заспокійливий, антисептичний та легкий себорегулювальний ефект. Використання даного екстракту зменшує почервоніння, лущення та свербіння на проблемній, жирній та чутливій шкірі, підтримує мікробіом та знижує ризик запалення після механічного впливу (скрабування). Підходящий актив для зон, схильних до куперозу, пост-акне станів та періодичної себореї. Гелеві скраби забезпечують м'який, контрольований пілінг за рахунок водно-полімерної бази та дозованих абразивних частинок [3]. Було розроблено рецептуру гелевого скрабу для обличчя з екстрактом причепи з рисовим крохмалем в якості абразиву. Екстракт череди вводився в водну фазу гелю (0,5–2%) як додатковий активний компонент, що підсилює протизапальний та заспокійливий ефекти після скрабування. Він допомагає зменшити дискомфорт, еритему та «стягнутість» шкіри, що особливо актуально для чутливої та комбінованої шкіри. Також в складі косметичного скрабу містився гліцерин, олія мигдалю, пантенол, екстракт алое та вітамін Е. Отримані зразки мали приємну гелеву текстуру та м'який скрабуючий ефект очищення. Оптимальним за органолептичними показниками виявився зразок з 1,5 % екстракту причепи, зразок з 2 % екстракту викликав відчуття стягнутості шкіри після використання. Показник pH зразків коливався в діапазоні 5,2–5,6, що відповідає нормативним вимогам до даних косметичних засобів.

Висновки. Екстракт череди є перспективним натуральним інгредієнтом для косметики, який поєднує високу біологічну активність і відносно невелику агресивність відносно шкіри. У гелевих скрабах він відіграє роль заспокійливого та протизапального актива, що підвищує переносимість механічного пілінгу та допомагає формувати формули з «дермато-дружньою» спрямованістю.

Література

1. Kim J. et al. «Effect of plant extracts on skin barrier function» // Cosmetic Science, 2021. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10607442/ (дата звернення: 14. 04.2026)
2. Singh A. et al. «Role of herbal extracts in cosmetic formulations» // Int. J. Herb. Med., 2022.
URL:https://www.ijpsjournal.com/article/The+Role+of+Herbal+Formulations+in+the+Cosmetic+Industry+Market+Trends+and+Consumer+Behavior (дата звернення: 14.04.2026)
3. Patel K. et al. «Natural exfoliants: efficacy and safety» // Herbal Cosmetic Journal, 2022. URL:https://www.researchgate.net/publication/378402670_Natural_Ingredients_in_Skincare_A_Scoping_Review_of_Efficacy_and_Benefits (дата звернення: 14.04.2026)

Технологічні аспекти фітоінжинірингу у виробництві засобів гігієни порожнини рота

Огуй Ярослав, Олена Подобій
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Гігієна порожнини рота є важливим елементом загальної індивідуальної гігієни людини, оскільки недостатня гігієна може призвести до розвитку стоматологічних захворювань.

Сучасна трансформація галузі виробництва засобів догляду за порожниною рота спрямована на заміну синтетичних антисептиків (триклозану, хлоргексидину) натуральними ефірними композиціями, що є ключовим трендом 2026 року.

Актуальної задачею технології виробництва засобів гігієни порожнини рота є забезпечення стабільності летких та гідрофобних компонентів у складі гідрофільних систем задля збереження їх антибактеріальних властивостей.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є технологія отримання фітокомпозицій із заданими властивостями для подальшого застосування у виробництві засобів гігієни порожнини рота. Проведено аналітичний огляд науково-технічної літератури, проаналізовано методи CO_2-екстракції для отримання чистих концентратів та ультразвукової інтенсифікації для вилучення поліфенолів [2].

Результати. Аналіз показав, що інкапсуляція активів, як інноваційний підхід, може реалізуватись шляхом використання наноконтейнерів для ментолу, тимолу та олії чайного дерева, які захищають їх від окиснення та забезпечує пролонговану антибактеріальну дію (8–12 годин) за рахунок ефекту «Targeted Delivery». Для стабілізації систем застосовано технології ліпосомального та полімерного мікрокапсулювання [1].

Надзвичайно важливою є колоїдна стабільність отриманих продуктів, яку можемо досягти шляхом заміни синтетичних ПАР (SLS) на рослинні сапоніни (солодка, мильний горіх, женьшень) та використання вакуумних гомогенізаторів для формування стійких емульсій [2].

Для забезпечення синергізму композицій авторами розроблено мультимодальні суміші: протизапальні (шавлія, евкаліпт), бактеріостатичні (кориця, орегано) та регенеративні (обліпиха, алое). Встановлено, що такі композиції ефективніше руйнують бактеріальні біоплівки, ніж традиційні антибіотики [3].

Порівняльний аналіз показав, що нові технологічні підходи забезпечуєть селективне пригнічення патогенів, на відміну від тотального знищення мікрофлори синтетичними засобами.

Висновки. Впровадження методів фітоінжинірингу дозволяє створювати ефективні двофазні "розумні" засоби гігієни порожнини рота без вмісту спирту. Використання екстракції та нанокапсулювання забезпечує високу біокерованість продукту, що характеризує сучасні підходи натуропатичної стоматології.

Література

1. Bilia, A. R. Innovative delivery systems for essential oils. *Journal of Cosmetic Science*, 2023.
2. Chemat, F. Green Extraction of Natural Products: Theory and Practice. *Springer*, 2024.
3. Dima, C., & Dima, S. Essential oils in oral health: Encapsulation and controlled release. *Food Hydrocolloids*, 2025.

Фізико-хімічні властивості та технологічний потенціал природної охри

Олена Ковальчук, Ігор Фесич
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Природна охра належить до групи найбільш стабільних неорганічних пігментів, що складаються з гідратів оксидів заліза та глинистих мінералів. Її унікальність зумовлена поєднанням високої покривної здатності, абсолютної світлостійкості та повної екологічної безпеки. У контексті сучасних вимог до чистоти сировини в харчовій та косметичній галузях, дослідження природної охри як натурального фарбника є пріоритетним завданням для розробки гіпоалергенних та безпечних продуктів.

Матеріали і методи. Методологія роботи базується на аналізі хімічного складу природних залізооксидних руд та вивченні їхньої поведінки при термічній обробці. У ході дослідження використовувався метод систематизації даних щодо впливу мінералогічного складу на колориметричні показники пігменту. Особлива увага приділялася процесам фазових переходів залізистих мінералів під дією температури.

Результати. Колір природної охри зумовлений наявністю мінералу гетиту (альфа-FeOOH), де іони заліза Fe^{3+} виступають основними хромофорами. На відміну від штучних синіх пігментів, природна охра завдячує своїм відтінком електронним переходам у кристалічній решітці оксиду. Хімічна природа пігменту дозволяє йому бути інертним у більшості середовищ: дослідження підтверджують високу стабільність охри до дії сонячного випромінювання та атмосферної вологи. Важливою властивістю природної охри є її термічна стабільність до 200°C, після чого починається процес дегратації гетиту з утворенням гематиту (Fe_2O_3). Цей перехід дозволяє отримувати широку гаму відтінків - від жовтого до червоно-коричневого без додавання сторонніх хімічних речовин. Завдяки своїй мінеральній основі, охра демонструє чудову лугостійкість та стійкість до слабких органічних кислот, що робить її незамінною в технології виробництва декоративної косметики, мила та пакувальних матеріалів, що контактують з харчовими продуктами. Фізична форма часток природної охри сприяє гарній адгезії поверхонь та легкій диспергації в олійних та водних фазах.

Висновки. Природна охра є високоефективним та екологічно чистим пігментом, що відповідає сучасним стандартам безпеки. Можливість регулювання кольору шляхом термічного впливу та висока хімічна інертність дозволяють використовувати її як базовий фарбувальний компонент у косметичній індустрії та харчових технологіях. На відміну від складних синтетичних систем, природна охра не вимагає додаткового захисту від агресивних середовищ, що спрощує технологічний процес виробництва кінцевого продукту.

Література

1. The Farmewrk for Ochre Experiences (Foes): Towards a Transdisciplinary Perspective on the Earth Material Heritage of Ochre. 2024 pp. 109-127.

Фізико-хімічне дослідження екстракту розмарину як етапу стандартизації сировини для дієтичних добавок

Оксана Ситарук, Олеся Романова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Біологічна цінність сировини *Rosmarinus officinalis L.* визначається унікальним вмістом фенольних сполук (розмаринова кислота, карнозол), які володіють потужним антиоксидантним та протизапальним потенціалом. У сучасній практиці розробки дієтичних добавок стандартизація вмісту цих речовин є обов'язковою умовою. Це зумовлює необхідність застосування сучасних фізико-хімічних методів, таких як спектрофотометрія та хроматографія, для точної ідентифікації та кількісного визначення активних компонентів у складі екстракту [1].

Матеріали та методи. Об'єктом дослідження був екстракт розмарину, отриманий з листя розмарину з використанням пропіленгліколю як екстрагенту у співвідношенні 1:20 [2]. Загальний вміст фенольних сполук вимірюють спектрофотометричними методами [3].

Результати. У стандартизованих екстрактах розмарину (у порошкових формах) загальна втрата при висиханні (LOI), що свідчить про вміст вологи та летких компонентів, зазвичай не повинна перевищувати 5 %. Для якісного екстракту розмарину очікують високий вміст сухої речовини (≥ 90 %), що забезпечує достатню концентрацію фенольних сполук та інших активних компонентів. Результати літературних досліджень показують, що загальний вміст фенольних сполук у екстрактах розмарину складає від ~34 до ~182 mg GAE/g сухого екстракту залежно від умов екстракції та обробки сировини. Це свідчить про високу антиоксидантну активність та якість екстракту, адже фенольні речовини відповідають за більшість корисних властивостей розмарину [2].

Висновки. Встановлено, що отриманий екстракт володіє необхідною стабільністю та органолептичними показниками для включення у склад нутрицевтичних засобів (капсул, таблеток або крапель). Використання розмарину у виробництві дієтичних добавок дозволяє замінити синтетичні стабілізатори природними аналогами, що відповідає сучасним вимогам безпеки харчових продуктів.

Література

1. Фармакогнозія. Розмарин лікарський : навчальний посібник / НФаУ. Харків : НФаУ, 2010.
URL:https://dspace.nuph.edu.ua/bitstream/123456789/7999/1/фармакаом%202010%20розмарин.pdf (дата звернення: 14.04.2026)
2. Extraction kinetics of phenolic antioxidants from the hydro distillation residues of rosemary and effect of pretreatment and extraction parameters / Psarrou I., Oreopoulou A., Tsimogiannis D. et al. Molecules. — 2020. — Vol. 25. — Article 4520. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7582955/ (дата звернення: 14.04.2026)
3. Wellgreen Herb. Standardized rosemary extract powder. URL: https://uk.wellgreenherb.com/standardized-extract/rosemary-extract-powder (дата звернення: 14.04.2026)

Сучасний стан та перспективи промислового виробництва еритoрбату натрію (Е316)

Тетяна Піціва, Тетяна Бойчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Еритoрбат натрію (харчова добавка Е316) – це органічна сполука, що виконує роль потужного антиоксиданту та стабілізатора забарвлення у продуктах, схильних до потемніння під час інтенсивної термічної обробки.

Матеріали та методи. Проведено аналітичний огляд літератури, вивчено досвід з технології отримання Еритoрбату натрію – одного з основних антиоксидантів хімічної та харчової промисловості.

Результати. Еритoрбат натрію ($C_6H_7O_6Na$, харчова добавка Е316) – це органічна сполука, що виконує роль потужного антиоксиданту та стабілізатора забарвлення у продуктах, схильних до потемніння під час інтенсивної термічної обробки. Широко застосовується у м'ясній та пташиній продукції, а також у різноманітних напоях (пиво, вино, соки).

Він забезпечує інтенсифікацію процесу утворення оксиду азоту, що призводить до суттєвого зниження залишкового вмісту нітратів у готовому продукті. Така властивість має критичне значення для безпеки харчування, оскільки запобігає синтезу канцерогенних сполук (зокрема нітрозамінів) [1].

Внаслідок високого попиту, було створено ряд промислових методів отримання еритoрбату натрію. За кордоном застосовується спосіб, де еритoрбат натрію отримують шляхом взаємодії еритoрбінової кислоти з натрій гідроксидом у водному розчині. Процес отримання еритoрбату натрію базується на реакції нейтралізації:

$$C_6H_8O_6+NaOH \Longrightarrow C_6H_7NaO_6+H_2O$$

Після завершення реакції фільтрат пропускають через вакуум-фільтри та піддають адсорбційному знебарвленню активованим вугіллям для видалення пігментів та домішок [2].

Фінішна обробка полягає у концентруванні очищеного розчину у вакуум-апаратах, після чого проводять кристалізацію еритoрбату натрію шляхом керованого охолодження.

Кристалічний продукт відокремлюють на центрифугах, промивають 98% етанолом, висушують до постійної маси, просівають (або подрібнюють до заданого гранскладу) та пакують у герметичну тару (згідно з регламентами документації EFSA № 6). Отриманий продукт – білий кристалічний порошок, майже без запаху

Екологічний чинник у виробництві Е316 вважається сприятливим, оскільки речовина є біорозкладною та нетоксичною [2].

Висновок. У наш час еритoрбат натрію викликає великий попит у галузях харчової та косметичної промисловості. Тому промислове виробництво даного виду сировини є сучасною темою та потребує інновацій для більшого виходу цільового продукту.

Література. 1. Global Sodium Erythorbate Market. Maximize Market Research. URL: https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-sodium-erythorbate-market/107748/ (дата звернення 12.03.2026).

2. Scientific Opinion on the re-evaluation of erythorbic acid (E315) and sodium erythorbate (E316) as food additives. EFSA Journal. 2016. 14(1):4360, 51 pp.

Особливості технології виробництва пропіонової кислоти

Яросвіт Лабатій, Олеся Романова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Серед усіх промислово доступних органічних кислот пропіонову кислоту (ПК) та її похідні можна назвати важливими хімічними проміжними продуктами, які здебільшого використовуються в різних промислових застосуваннях як антимікробні засоби для широкого спектру мікроорганізмів, протизапальні речовини, що проявляють знеболювальні та жарознижувальні властивості, гербіциди, що контролюють як однодольні, так і дводольні рослини, консерванти в хлібобулочних виробах та сирних виробах, штучні ароматизатори, фармацевтичні препарати, сировина для виробництва пропіонату ацетату целюлози тощо [1].

Матеріали і методи. Проведено аналітичний огляд літератури, стосовно технології та економіки виробництва, використання пропіонової кислоти у різних галузях.

Результати. Пропіонова кислота (ПК) – це карбонова кислота, у чистому стані це безбарвна корозійна рідина, що виділяє різкий запах. Переважно вироблялася шляхом гідрокарбоксилювання етилену в нафтохімічній промисловості.

Пропіонова кислота, після оцтової, мурашиної та 2-етилгексанової кислот, є четвертою за величиною промислово вироблюваною карбоновою кислотою за потужністю. За останні десятиліття технологія виробництва пропіонової кислоти розвивалася, і більш ефективні, тобто більш стійкі процеси, засновані на гідроформілюванні етилену до пропіональдегіду та подальшому окисленні за допомогою O_2 до пропіонової кислоти, захоплюють зростаючі потужності для цього продукту. З цієї причини надається перспектива розвитку сталого виробництва пропіонової кислоти та її похідних у промислових масштабах. [1].

Пропіонова кислота зустрічається в природі, переважно у вигляді своїх ефірів у деяких ефірних оліях. Похідні пропіонової кислоти також є важливими проміжними продуктами в різних фізіологічних циклах [2].

У синтезі пропіонової кислоти методом карбонілювання етилену, сам етилен реагує з чадним оксидом та водою у присутності $Ni(CO)_4$ згідно з наступним рівнянням:

$$CH_2 = CH_2 + CO + H_2O \rightarrow CH_3CH_2COOH \qquad \Delta H = -164 \text{ kj/mol}$$

Реакція відбувається при високому тиску та характеризується низькими витратами на сировину, високою конверсією, високим виходом та простотою обробки [2].

Висновки. Виробництво пропіонової кислоти є досить актуальним через способи її використання у багатьох галузях хімічної, харчової, косметичної та фармацевтичної промисловостей.

Література

1. Vahid Ranaei, Zahra Pilevar, Amin Mousavi Khaneghah, Hedayat Hosseini. Propionic Acid: Method of Production, Current State and Perspectives. *Food Technol Biotechnol*. 2020 Jun; 58(2):115–127.

2. Ulf-Rainer Samel, Walter Kohler, Armin Otto Gamer, Ullrich Keuser and other. Ullmann`s Encyclopedia of Industrial Chemistry. Propionic Acid and Derivatives. 31 January 2018

Особливості застосування лактату натрію як консерванта у харчових технологіях

Катерина Ярчак, Тетяна Бойчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасній харчовій промисловості спостерігається зростаючий попит на безпечні та ефективні консерванти, що здатні подовжувати термін зберігання продуктів без негативного впливу на їхню якість та безпечність. Однією з таких перспективних добавок є лактат натрію – натрієва сіль молочної кислоти, яка широко використовується як регулятор кислотності, вологоутримувальний агент і консервант. Завдяки своїм антимікробним властивостям ця сполука може пригнічувати ріст патогенних і псувальних мікроорганізмів у харчових продуктах, що зумовлює її значний технологічний потенціал.

Матеріали та методи. Проведено аналіз та узагальнення наукових літературних джерел, присвячених дослідженню антимікробних властивостей лактату натрію та його застосування у різних галузях харчової промисловості.

Результати. Лактат натрію проявляє виражену бактеріостатичну дію щодо широкого спектра мікроорганізмів, зокрема *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* та інших бактерій, що спричиняють псування харчових продуктів. Застосування цієї добавки дозволяє підвищити мікробіологічну стабільність продуктів та подовжити їх термін зберігання. Дослідження показують, що використання лактату натрію у м’ясних продуктах сприяє зниженню росту мікрофлори та може подовжувати термін придатності продукції приблизно на 10 діб. Крім того, ця речовина здатна покращувати технологічні властивості продуктів, зокрема підвищувати водоутримувальну здатність, стабілізувати pH та покращувати сенсорні характеристики.

Перспективним напрямом є комбіноване використання лактату натрію з іншими антимікробними компонентами або біополімерними пакувальними матеріалами. Зокрема, поєднання лактату натрію з діацетатом або використання його у складі антимікробних покриттів дозволяє ефективно контролювати розвиток патогенних мікроорганізмів у готових до споживання м’ясних продуктах під час зберігання.

Висновки. Лактат натрію є перспективним і безпечним консервантом для харчової промисловості завдяки антимікробним властивостям і здатності покращувати технологічні характеристики продуктів. Його застосування підвищує мікробіологічну стабільність і подовжує термін зберігання харчових продуктів. Подальші дослідження спрямовані на оптимізацію його концентрацій та розробку комбінованих систем консервування.

Література

1. Shelef L. A. Antimicrobial Effects of Lactates. *Journal of Food Protection.* 1994. Vol. 57(5). P. 445–450.
2. Houtsma P. C. The antimicrobial activity of sodium lactate. Wageningen University, 1996.

Використання ізомальту в 3D-кондитерському друці

Колтун Аліна, Бойчук Тетяна
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Розвиток адитивних технологій у харчовій промисловості відкриває нові можливості для створення інноваційних продуктів із заданими геометричними, структурними та естетичними характеристиками. 3D-кондитерський друк дозволяє формувати складні декоративні елементи шляхом пошарового нанесення харчових матеріалів відповідно до цифрової моделі. Особливу увагу в цьому напрямі привертає ізомальт - поліол, що широко застосовується у кондитерському виробництві як замінник цукру та матеріал для виготовлення прозорих декоративних конструкцій.

Матеріали та методи. Проведено аналітичний огляд наукової літератури щодо використання ізомальту в адитивних технологіях та кондитерському виробництві

Результати. Ізомальт є поліолом, який характеризується специфічними термофізичними та реологічними властивостями, що визначають його придатність до використання у 3D-кондитерському друці. Під час нагрівання ізомальт переходить у в'язкотекучий стан, придатний для екструзії, а після охолодження формує аморфну склоподібну структуру. Саме здатність до утворення стабільного склоподібного стану забезпечує швидку фіксацію нанесеного шару, збереження чіткої геометрії та мінімальну деформацію конструкції після завершення друку.

Порівняльний аналіз із сахарозою показує, що ізомальт має меншу схильність до неконтрольованої кристалізації під час плавлення та охолодження. Це знижує ймовірність виникнення внутрішніх напружень, мікротріщин і помутніння структури, які часто спостерігаються при використанні звичайного цукру. Крім того, ізомальт характеризується відносно нижчою гігроскопічністю, що дозволяє довше зберігати прозорість і механічну цілісність виробів за умов контрольованої вологості. Важливою властивістю є також висока оптична прозорість матеріалу після застигання, що створює додаткові можливості для художнього оформлення кондитерських виробів.

Технологія 3D-друку ізомальтом базується на екструзійному методі адитивного формування. Процес включає підготовку матеріалу шляхом плавлення до однорідної маси, подачу розплаву через нагріте сопло та пошарове нанесення відповідно до цифрової моделі. Встановлено, що стабільність процесу значною мірою залежить від точності підтримання температури плавлення, оскільки при недостатньому нагріванні підвищується в'язкість і порушується рівномірність подачі, а при надмірному - можливе потемніння матеріалу та зміна його структурних характеристик. Оптимальне співвідношення швидкості екструзії та швидкості переміщення друкувальної головки забезпечує формування рівномірних шарів із достатньою адгезією між ними. Діаметр сопла безпосередньо впливає на деталізацію: використання сопел малого діаметра дозволяє отримувати тонкі ажурні елементи, однак потребує більш точного контролю температури та швидкості подачі. Водночас для масивних елементів доцільним є застосування більшого діаметра сопла з метою підвищення продуктивності процесу.

Вологість навколишнього середовища є критичним фактором для збереження якості готових виробів. При підвищеній відносній вологості повітря можливе поступове поглинання вологи поверхнею ізомальтових конструкцій, що призводить до втрати блиску, липкості та деформації тонких елементів. Таким чином, для промислового використання 3D-друку ізомальтом необхідне забезпечення стабільного мікроклімату виробничого приміщення.

У кондитерській практиці ізомальтовий 3D-друк може застосовуватися для створення прозорих об'ємних фігур, ажурних декоративних каркасів, складних просторових композицій для тортів і десертів, а також персоналізованих прикрас, виконаних за індивідуальними цифровими моделями. Перспективним напрямом є комбінування ізомальтових структур із шоколадом, кремовими або гелеподібними масами, що дозволяє створювати багатокомпонентні вироби з поєднанням різних текстур і кольорів.

Серед переваг застосування ізомальту в 3D-кондитерському друці слід відзначити можливість отримання високодеталізованих прозорих конструкцій, відносну технологічну стабільність матеріалу, меншу схильність до кристалізації порівняно з сахарозою, а також повну їстівність і безпечність для споживання. До недоліків належать чутливість до вологості, необхідність точного контролю температурних параметрів і відносна крихкість великих або тонкостінних конструкцій.

Висновки. Отже, ізомальт є перспективним матеріалом для використання у 3D-кондитерському друці завдяки здатності формувати стабільні склоподібні структури, відносно низькій схильності до кристалізації та високим декоративним властивостям. Існуючі екструзійні методи адитивного формування дозволяють отримувати складні геометричні елементи з достатньою точністю та деталізацією. Удосконалення технології можливе шляхом оптимізації температурних режимів, параметрів подачі матеріалу та контролю умов навколишнього середовища, що сприятиме підвищенню якості та стабільності готових кондитерських виробів.

Література

1. Qin Z, Yang Y, Zhang Z, Li F, Hou Z, Li Z, Shi J, Shen T. A Critical Review: Gel-Based Edible Inks for 3D Food Printing: Materials, Rheology–Geometry Mapping, and Control. Gels. 2025; 11(10):780.

2. Ritota M, Melloni S, Cianfrini G, Narducci V, Ruggeri S, Turfani V. Recent Advances in Inks for 3D Food Printing: A Review. *Applied Sciences.* 2025; 15(22):11891.

Токсичність та дозування фосфатів калію

Юлія Король, Олеся Романова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. На сьогоднішній час фосфати калію є безпечними й широко застосовуються у харчовій промисловості в якості добавки для покращення властивостей продуктів, як окремо так і в поєднанні з іншими фосфатовмісними харчовими добавками.

Матеріали і методи. На основі аналізу науково-технічної літератури було досліджено токсичність та дозволене дозування монофосфатів калію в харчових продуктах.

Результати. Фосфати калію використовують як харчові добавки (регулятори кислотності, стабілізатори, емульгуючі солі), як джерело фосфору/калію в медицині (інфузійні розчини, парентеральне харчування) та як технологічні реагенти (зокрема в агрохімії й водопідготовці) [1].

Фосфати калію (зазвичай KH_2PO_4, K_2HPO_4, K_3PO_4; у харчових добавках — E340(i–iii)) мають низьку гостру системну токсичність при пероральному надходженні у звичайному раціоні, але ризики суттєво зростають при високих дозах фосфатного навантаження, а також у вразливих груп населення (хронічна хвороба нирок, порушення електролітів, супутні препарати, що підвищують калій) [1].

Європейський комітет з безпеки харчових продуктів (EFSA) встановив групове дозування для фосфатів (виражену як фосфор) 40 мг/кг маси тіла на добу для дорослої людини масою 70 кг; EFSA підкреслює, що ця норма не слід відносити до людей із помірним–тяжким зниженням функції нирок. EFSA також зазначає, що чинні технологічні дозволи в ЄС дають широкий діапазон максимальних кількостей застосування фосфатів калію у харчових продуктах. Комісія Codex/GSFA наводить приклади технологічних максимумів для фосфато-вмісних харчових добавок у перерахунку на фосфор: для дитячих сумішей — 450 мг/кг, для окремих категорій рибних продуктів — 2200 мг/кг [2].

В США Управління з контролю за продуктами і ліками США класифікує фосфати калію як загально безпечні до використання за умови нормування відповідно до GMP. Як правило гостра небезпека для людини частіше пов’язана не з токсичністю фосфатів калію, а з хронічними захворюваннями [2].

Висновки. Фосфати калію є багатофункціональними сполуками, які широко застосовуються у різних галузях промисловості й визнані переважно безпечними для здорового населення за умови дотримання встановлених норм споживання. Попри низьку гостру токсичність, вони становлять підвищений ризик для вразливих груп, через що потребують суворого контролю вмісту в продуктах та врахування загального фосфатного навантаження на організм.

Література

1. Hyperphosphatemia in Kidney Failure: Pathophysiology, Challenges, and Critical Role of Phosphorus Management. MDPI. URL: https://www.mdpi.com/2072-6643/17/9/1587 (дата звернення: 01.04.2026).

2. Food additives: EC publishes call for data on the permitted food additives phosphoric acid – phosphates – di-, tri- and polyphosphates. Food Safety. URL: https://food.ec.europa.eu/food-safety-news/food-additives-ec-publishes-call-data-permitted-food-additives-phosphoric-acid-phosphates-di-tri-and-2023-07-07_en (дата звернення: 01.04.2026).

Розробка рецептури косметичного крему з екстракту гранатової шкірки та алое

Яросвіт Лабатій, Олеся Романова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Постійний розвиток та умови функціонування косметичної галузі зумовлюють потребу виробників у введенні до складу косметичних засобів доступних та ефективних інгредієнтів, які б забезпечували потрібний доглядовий ефект (наприклад, зволоження, пом'якшення, регенерація тощо). Лікарська рослинна сировина є перспективним об'єктом для дослідження, оскільки містить біологічно-активні речовини. Антиоксидантна активність, яка є однією з фармакологічних властивостей лікарської рослинної сировини, є особливо важливою, оскільки антиоксиданти допомагають позитивно впливати на організм людини, що є ключовим для досягнення лікувального ефекту косметичних засобів.

Матеріали і методи. Проведено аналітичний огляд літератури та розроблено рецептуру емульсіійного крему для догляду за шкірою обличчя і тіла на основі екстрактів шкірки гранату та м'якоті алое, стандартизованих за вмістом сполук поліфенольної природи.

Результати. Екстракт граната - це активна речовина, отримана з сировини шкірки граната, що містить поліфеноли, флавоноїди, алкалоїди, органічні кислоти та естрогеноподібні компоненти. Він має різні фармакологічні функції, такі як антиоксидант, поглинає вільні радикали, запобігає серцево-судинним і цереброваскулярним захворюванням. Виробництво екстракту алое вера стало зростаючою галуззю завдяки численним заявленим корисним властивостям рослини для здоров'я. Його використовують для виготовлення косметичної продукції, проносних препаратів та функціональних продуктів харчування, таких як креми для обличчя та рук, тональні основи, засоби для очищення, губні помади, лосьйони, шампуні та тоніки для волосся, засоби для гоління, засоби для ванн, а також засоби для макіяжу та ароматизаторів.

Косметичний крем виготовляли за емульсійною технологією. Для отриманого зразку було експериментально визначені органолептичні та фізико-хімічні показники якості. Результати наведені нижче.

Показник якості	Результати випробування
Зовнішній вигляд	Однорідна маса легкої консистенції без сторонніх включень, білого кольору
Запах	Ненав'язливий легкий аромат
Вбираність	Швидко вбирається, не залишає жирного блиску
pH	5,2
Термостабільність	стабільний
Колоїдна стабільність	стабільний

Розроблений зразок косметичного крему на основі екстрактів гранату та алое відповідає вимогам НТД за органолептичними властивостями та показниками pH, колоїдної і термостабільності.

Висновки. Актуальність використання екстрактів шкірки граната та алое в косметичних кремах обумовлена їхнім сильним антиоксидантним, протизапальним і гідратуючим ефектом, що добре поєднується з сучасними трендами «натурального» догляду та підтримки бар'єрної функції шкіри.

Історичні віхи створення багатотонажної технології метанолу

Маргарита Головач, Тетяна Бойчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Метанол – найпростіший одноатомний спирт, шлях якого пролягав від давньоєгипетських методів перегонки деревини до сучасного промислового синтезу з газу. Сьогодні це фундаментальна сировина для глобальної хімічної індустрії, виробництва палива та сучасних матеріалів.

Матеріали і методи. Проаналізовано наукові джерела та публічну інформацію щодо історію створення метанолу в різні епохи людства.

Результати. Історія виникнення та промислового освоєння метанолу --- це масштабний шлях трансформації від архаїчних методів випалювання дерева до надскладних технологій сучасного органічного синтезу. Ще в часи Давнього Єгипту люди, самі того не усвідомлюючи, використовували метанол у складі рідин для бальзамування, які отримували шляхом примітивної перегонки деревини, проте як індивідуальна хімічна речовина він залишався невідомим протягом багатьох століть. Справжнє наукове знайомство з ним розпочалося лише у 1661 році, коли видатний хімік *Роберт Бойль*, досліджуючи продукти сухої перегонки самшиту, зумів виділити специфічну рідину, яку він назвав «нейтральним спиртом». Проте навіть тоді його природа залишалася загадкою, і лише у 1834 році *Жан-Батист Д*юма разом з *Еженом Пеліго* змогли точно визначити його склад та дали йому назву «метил», що заклало фундамент для розуміння структури всіх одноатомних спиртів.

Протягом усього XIX століття метанол залишався продуктом, який отримували виключно механічним і трудомістким шляхом — термічним розкладанням деревини без доступу повітря, через що за ним міцно закріпилася назва «деревний спирт». Цей метод був надзвичайно малоефективним, оскільки з величезної кількості сировини вдавалося отримати лише мізерну частку чистого спирту, що стримувало його широке промислове використання. Справжня революція відбулася лише у 1923 році в Німеччині, коли інженер компанії BASF *Матіас Пір'єр* реалізував на практиці ідею прямого синтезу метанолу з газів. Використання суміші монооксиду вуглецю та водню (синтез-газу) під величезним тиском до 350 атмосфер дозволило відійти від залежності від деревини та відкрило двері до справді масового виробництва.

Наступний якісний стрибок стався вже у другій половині XX століття, у 1960-х роках, коли британська компанія ICI розробила нову систему каталізаторів на основі міді. Це дозволило проводити ту саму реакцію синтезу при значно нижчих температурах і тиску, що зробило виробництво метанолу набагато безпечнішим, дешевшим та енергоефективнішим.

Сьогодні метанол виготовляють переважно з природного газу, і він перетворився на один із найважливіших енергоносіїв та хімічних напівпродуктів у світі.

Висновки. Історія метанолу — це еволюція від примітивної перегонки дерева до масштабного синтезу з газу. Сьогодні він перетворився на стратегічну сировину, що є фундаментом сучасної промисловості та ключем до екологічного палива майбутнього.

Література

1. e-Methanol Production: 2026 Engineering Guide. — EPCLand Technical Series, 2026

Фізико-хімічні основи технології отримання та використання пігментів групи ультрамарину

Анна Мохнач, Ігор Фесич
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Ультрамарин є одним із найбільш складних за структурою неорганічних пігментів, що належить до групи каркасних алюмосилікатних цеолітів. Сучасні дослідження спрямовані на вивчення природи хромофорних центрів та розробку методів захисту пігменту від деградації, відомої в мистецтвознавстві як «ультрамаринова хвороба».

Матеріали і методи. Робота базується на аналізі та узагальненні результатів сучасних англомовних наукових публікацій, рентгеноструктурних досліджень та патентної документації провідних світових виробників пігментів.

Результати. Аналіз літературних джерел дозволив виділити наступні ключові аспекти:

- Структурні особливості: Згідно з даними XRD-спектроскопії, ультрамарин має структуру содаліту (кубічна сингонія). Колір зумовлений радикалами S_3^- та S_2^-, які «затиснуті» всередині β-порожнин каркасу. Встановлено, що відношення Si/Al є критичним: високий вміст кремнію сприяє отриманню червонуватих відтінків синього.
- Технологічні закономірності: Синтез за методом Гіме залишається базовим, проте сучасні джерела (наприклад, MDPI Minerals) описують можливість використання палигорськіту як альтернативи каоліну, що знижує необхідну кількість сірки та підвищує екологічність процесу.
- Проблема стійкості: Аналіз публікацій щодо «ultramarine disease» підтверджує, що пігмент чутливий до фотокаталітичного руйнування сполучних речовин. Для вирішення проблеми деградації в кислому середовищі (pH < 5) патентні джерела пропонують технологію двостадійного нанесення щільних оболонок з діоксиду кремнію (SiO_2) методом золь-гель синтезу.

Висновки. Теоретичний аналіз підтверджує, що незважаючи на вікову історію, ультрамарин залишається перспективним об'єктом для нанотехнологічної модифікації. Основним напрямком розвитку технології є створення кислотостійких марок пігменту для промислового використання у агресивних середовищах.

Література

1. Research on the Preparation of Ultramarine Pigments from Palygorskite / J. Li et al. *Molecules*. 2024. Vol. 29, Iss. 4. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11858243/ (Last accessed: 13.04.2026).
2. Preparation of Acid-Resisting Ultramarine Blue by Novel Two-Step Silica Coating Process / Z. Wang et al. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2011. No. 50. P. 11110–11116. URL: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie200343k (Last accessed: 13.04.2026).

Застосування нітратної кислоти в сучасній промисловості та науці

Діана Сміян, Тетяна Бойчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Нітратна кислота (HNO_3) є однією з найважливіших неорганічних кислот, що відіграє ключову роль у розвитку сучасної хімічної промисловості. Вона належить до сильних кислот і є потужним окисником, що визначає її широке застосування у різних галузях виробництва. Завдяки своїм хімічним властивостям нітратна кислота бере участь у багатьох технологічних процесах, які мають стратегічне значення для економіки та науки. Її використання безпосередньо пов'язане з продовольчою безпекою, розвитком промисловості та впровадженням новітніх технологій.

Матеріали і методи. Використано методи інформаційного пошуку узагальнення та аналізу даних літератури.

Результати. Нітратна кислота має надзвичайно широке застосування в сучасній промисловості. Найбільше її використовують для виробництва *азотних добрив*, зокрема аміачної селітри, які є необхідними для підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Важливою сферою застосування є виробництво *вибухових речовин*. Нітратна кислота використовується у процесах нітрування органічних сполук, у результаті яких утворюються такі речовини, як тротил, нітрогліцерин та гексоген. Ці сполуки мають широке застосування не лише у військовій сфері, але й у цивільних галузях, зокрема в гірничодобувній промисловості та будівництві. У *хімічній промисловості* нітратна кислота виступає як реагент для синтезу численних органічних і неорганічних сполук. Особливо важливим є процес нітрування, який дозволяє вводити нітрогрупу в органічні молекули, змінюючи їхні властивості. Це використовується при виробництві барвників, пластмас, лаків і синтетичних волокон. Таким чином, нітратна кислота є невід'ємною частиною технологічних процесів, що забезпечують створення матеріалів для повсякденного використання. У *металургії* нітратна кислота застосовується для очищення та обробки металів. Вона ефективно видаляє оксидні плівки з поверхні металів, що є необхідним етапом перед подальшою обробкою або нанесенням покриттів. Значну роль нітратна кислота відіграє і в сучасних високих технологіях. У виробництві *електроніки* вона використовується для очищення та травлення напівпровідникових матеріалів, зокрема кремнію. Водночас слід враховувати і негативні аспекти використання нітратної кислоти. Вона є джерелом оксидів азоту, які можуть потрапляти в атмосферу та сприяти утворенню кислотних дощів. Це негативно впливає на екосистеми, ґрунти та водні ресурси.

Висновки. Отже, нітратна кислота є універсальною хімічною речовиною, яка має широке застосування у різних галузях — від сільського господарства до високих технологій. Вона забезпечує виробництво добрив, сприяє розвитку промисловості та є необхідною для створення сучасних матеріалів і техніки.

Література

1. European Chemicals Agency (ECHA). (2022). *Nitric Acid, Substance Information*.
2. International Fertiliser Society / FerTech Inform. (2022). *Nitric Acid, Introduction and Uses*.
3. Groves, M. C. E. (2020). Nitric Acid. In: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, pp. 1–37.

Бензойна кислота: характеристика та історія виробництва

Андрій Ярмоленко, Тетяна Бойчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Витоки технології виробництва бензойної кислоти сягають 16 століття. Її найпоширенішим природним джерелом є бензойна смола, що міститься в корі дерев роду *Styrax*. Спектр застосування бензойної кислоти надзвичайно широкий: косметична, фармацевтична та харчова галузі. Багато оброблених харчових продуктів містять бензойну кислоту або одну з її солей як консервант. Кислота пригнічує ріст бактерій, цвілі та дріжджів. Бензойна кислота також часто зустрічається в місцевих протигрибкових препаратах та фармації в цілому.

Матеріали і методи. Використано методи інформаційного пошуку, узагальнення та аналізу даних літератури.

Результати. Бензойна кислота (C_6H_5COOH) — найпростіша ароматична карбонова кислота, що складається з карбоксильної групи, приєднаної до бензольного кільця. Вона має вигляд безбарвної кристалічної твердої речовини з характерним запахом. Молярна маса 122,12 г/моль. Розчинність у воді погана та сильно залежить від температури (близько 2,9 г/л при 20°C). Добре розчинними в етерах, спиртах, хлороформі. Кислота утворює ряд солей — бензоатів. Температура кипіння 249,2°C, але кристали можуть сублімуватися вже при 100°C. Бензойна кислота має унікальний вплив на біологію людини, допомагаючи пригнічувати процес, який називається макроавтофагією, що призвело до її використання як харчового консерванту. Вона найкраще працює, коли їжа має кисле значення pH. Основна функція цієї сполуки – збереження споживчих властивостей продуктів харчування. Ця група консервантів у міжнародній класифікації засобів харчової хімії представлена харчовими добавками з індексами E210 – E213.

Бензойна кислота входить до більшої групи хімічних речовин, які називаються фенольними речовинами, до яких належать флавоноїди та інші карбонові кислоти. Ці сполуки допомагають рослинам захищатися від мікробів, а також відіграють певну роль у взаємодії рослин з мікробами. Деякі фенольні сполуки мають антимікробні властивості та беруть участь у захисті рослин.

У 1556 році лікар *Мішешь Нострадамус* вперше відкрив бензойну кислоту шляхом сублімації з бензойної смоли. *Блез де Віжене*р суттєво вдосконалив методику отримання бензойної кислоти бензальдегіду і встановив її формулу, вперше детально описавши процес її сублімації у вигляді білих кристалів з бензойної смоли у 1608. 1832 рік: *Юстус фон Лібіх та Фрідріх Велер* визначили точну хімічну структуру сполуки.

В наш час більша частина всієї бензойної кислоти синтезується у промислових масштабах шляхом каталітичного окиснення толуену ($C_6H_5CH_3$). Цю технологію розробили на німецькому підприємстві у роки Другої світової війни. «IG Farbenindustrie». Реакція проводиться за умов тиску в 200–700 кПа, та температури 136–160°C.

Висновки. Завдяки ефективній протимікробній дії бензойна кислота та її солі широко використовуються як ефективні консерванти у харчовій промисловості, а також як антисептики у фармацевтиці та косметиці.

Література

1. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Research (IJPPR), Volume 31, Issue 5, May 2025.

Історичні витоки багатотонажної технології сульфатної кислоти

Софія Гура, Тетяна Бойчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сульфатна кислота (H_2SO_4) є одним із найважливіших продуктів хімічної промисловості, яку часто називають «кров'ю хімії», оскільки рівень її виробництва є показником розвитку промисловості країни. Історія відкриття та розвитку технологій її отримання має глибоке коріння і тісно пов'язана з розвитком алхімії та ранньої хімії.

Матеріали і методи. Використано методи інформаційного пошуку, узагальнення та аналізу даних літератури

Результати. Перші відомості про речовини, подібні до сульфатної кислоти, належать до середньовічних алхіміків. Значний внесок у її одержання зробив *Джабір ібн Хайян* (VIII–IX ст.), який описував процеси нагрівання мінералів, зокрема купоросів, з утворенням їдких парів. Пізніше *Ар-Разі* (IX–X ст.) розвинув ці методи та отримував кислоту шляхом сухої перегонки сульфатів металів.

У Європі в середньовіччі сульфатну кислоту отримували шляхом нагрівання залізного або мідного купоросу, тому її називали «купоросною олією». Важливим етапом стало відкриття *Йоганн Глаубер у* XVII столітті, який удосконалив способи отримання кислоти та описав її властивості.

Промислове виробництво сульфатної кислоти почалося у XVIII столітті з появою свинцевокамерного процесу, розробленого *Джон Ребак* у 1746 році. Цей метод дозволив отримувати кислоту у великих масштабах, хоча її концентрація залишалася відносно низькою.

Подальший розвиток технологій пов'язаний із переходом до контактного способу виробництва у XIX столітті. Важливу роль у цьому відіграв *Перегрін Філліпс*, який у 1831 році запропонував використання каталізатора для окиснення SO_2 до SO_3. Саме цей метод став основою сучасного виробництва сульфатної кислоти.

У XX столітті контактний процес був значно вдосконалений завдяки застосуванню ефективних каталізаторів, зокрема оксиду ванадію (V_2O_5), що дозволило підвищити ступінь перетворення та економічність виробництва.

Висновки. Отже, історія сульфатної кислоти відображає еволюцію хімічної науки — від алхімічних дослідів до сучасних високоефективних технологій. Сьогодні вона залишається ключовим продуктом, без якого неможливий розвиток багатьох галузей промисловості.

Література

1. Greenwood and Earnshaw Chemistry of the Elements — Greenwood N. N., Earnshaw A. *Chemistry of the Elements*. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997

Вплив наночасточок діоксиду титану на здоров'я людини

Назар Ковалевський, Ігор Фесич
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Актуальність дослідження зумовлена широким застосуванням наночастинок діоксиду титану (TiO_2) у промисловості і медицині, а також потребою в оцінці їхньої безпечності. Метою роботи є аналіз токсичного впливу TiO_2 на клітинному та організменому рівнях.

Матеріали і методи. У дослідженні використано аналіз сучасної вітчизняної та закордонної літератури щодо оцінки токсичності наночастинок TiO_2 різного розміру. Проведено експерименти на тваринах та дослідження організмів у лабораторних умовах. Оцінку токсичності проводили за допомогою МТТ-тесту, рівень оксидативного стресу визначали через концентрацію реактивних форм кисню (ROS). Морфологічні зміни аналізували методом електронної мікроскопії.

Результати. Встановлено, що токсичність TiO_2 залежить від розміру частинок і концентрації. При концентрації понад 50мкг/мл спостерігалося зниження життєдіяльності клітин на 30-60%, тоді як при менших концентраціях спостерігався помірний цитотоксичний ефект. Дрібніші частини проявили вищу реакційну здатність і викликали підвищення оксидативного стресу у 1,5-2 рази.

У дослідженнях на тваринах зафіксовано накопичення TiO_2 у печінці, нирках та легенях, що супроводжувалося запальними процесами, підвищенням рівня оксидативного стресу. Тривалий вплив навіть низьких концентрацій може призводити до хронічних ефектів. Виявлено, що поверхнева модифікація частинок знижує їх токсичність. Таким чином, ключовими факторами, що визначають біологічний вплив TiO_2, є розмір частинок, їх концентрація, тривалість дії та фізико-хімічні властивості поверхні.

Висновки. Наночастинки діоксиду титану можуть негативно впливати на клітини та організм, особливо при високих концентраціях і малому розмірі частинок. Встановлено що їх дія пов'язана з розвитком оксидативного стресу.

Література

1. Ewa Baranowska-Wójcik, Dominik Szwajgier, Patryk Oleszczuk, Anna Winiarska-Mieczan Effects of Titanium Dioxide Nanoparticles Exposure on Human Health—a Review. Biological Trace Element Research 2020, Vol. 193, №1 P. 118-129. URL: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s12011-019-01706-6.pdf. (Дата звернення: 29.03.2026)

Гіпс як пігмент: структура, властивості та застосування

Павло Немченко, Ігор Фесич
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Гіпс є одним з найпоширеніших мінералів у природі, який має надзвичайно важливе значення для різних галузей промисловості. Це водний сульфат кальцію з хімічною формулою $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, який знайшов широке застосування у будівництві, медицині та сільському господарстві.

Матеріали і методи. Аналіз інформації з відкритих і актуальних інтернет-ресурсів щодо інформації про гіпс, його структуру, властивості та застосування у різних галузях.

Результати. Утворюється у процесі хімічної реакції між сірчаною кислотою і карбонатними породами в окисних сульфідних родовищах, а також внаслідок дії сірчистих вулканічних газів на навколишні породи, що містять кальцій. Виникає також під час гідратації ангідриту і як вторинний продукт окиснення сірчистих мінералів і сірки.

Макроскопічно гіпс являє собою верствувату чи масивну породу білого кольору й зернисту будову. У залежності від домішок, він набуває ясно-сірого, зеленуватого, жовтуватого, червоного і чорного забарвлення.

Гіпс - поширений складник осадових гірських порід (зокрема морських соляних відкладів) і ґрунтів. Трапляється у вигляді таблеткових, призматичних і стовпчикових кристалів, двійників типу *«ластівчин хвіст»* і агрегатів, серед яких виділяються крупнокристалічні, листуваті волокнисті та цукроподібні, а також як перевідкладений матеріал під час гідрохімічних реакцій. Зазвичай утворює пластові осадові поклади (разом із вапняками, мергелями, глинами і пісками), висоли у шахтах і печерні відклади.

Застосування гіпсу охоплює широкий спектр галузей завдяки унікальним властивостям цього мінералу. Багатофункціональність робить його незамінним у сучасній промисловості та побуті. Різноманітність сфер використання обумовлена можливістю отримання продуктів з різними характеристиками залежно від способу обробки. За температури 120–200 °C перетворюється на алебастр, який використовують для штукатурних робіт, виготовлення форм у керамічному виробництві та різних виливків (скульптура). У будівництві гіпс використовують для виробництва портландцементу, виготовлення гіпсокартону, гіпсових блоків тощо, у медицині - для хірургічних шин і гіпсування воскових репродукцій стоматологічних протезів. Розмолотий гіпс застосовують у сільському господарстві для хімічної меліорації засолених ґрунтів.

Висновки. Отже, гіпс є універсальним пігментом, який застосовується у різних галузях. Він бере свій початок використання з давніх-давен, а на сьогоднішній день - набув більш широкого значення.

Літерартура

1. Гіпс: властивості, типи, райони поширення та перспективи розробки. URL: https://ukrgeorozvidka.com.ua/news/gips-vlastivosti-tipi-rajoni-poshirennya-ta-perspektivi-rozrobki/ (Дата звернення: 13.04.2026)

2. Гіпс. Характеристики, різновиди, поширення. URL: https://insgeo.com.ua/gips/
URL: https://vue.gov.ua/ (Дата звернення: 13.04.2026)

Синтетичний ультрамарин: технологія одержання та хімічна стійкість

Олена Ковальчук, Тетятна Бойчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Синтетичний ультрамарин - це штучний неорганічний пігмент, що за своєю структурою є сірковмісним алюмінсилікатом натрію. Хімічна формула представляється як $Na_{8-10}\ Al_6Si_6\ O_{24}S_{2-4}$. На відміну від природного ультрамарину (мінералу лазуриту), синтетичний продукт має більш інтенсивний колір, вищу чистоту та значно меншу вартість. Його унікальність полягає в тому, що колір створюється не іонами металів- хромофорів (як у мідних чи залізних пігментах), а завдяки утриманню радикальних аніонів сірки всередині кристальної решітки. Сьогодні ультрамарин є незамінним у виробництві пластмас, лакофарбових матеріалів, художніх фарб та побутової хімії.

Матеріали і методи. Використано методи інформаційного пошуку, узагальнення та аналізу даних літератури. Для вивчення властивостей пігменту використовується комплексний фізико-хімічний підхід. Стійкість пігменту перевіряється шляхом витримування зразків у розчинах кислот і лугів різної концентрації протягом визначеного часу з наступним вимірюванням координат кольору в системі CIELAB для фіксації ступеня деградації.

Результати. Технологія одержання ультрамарину базується на складному двостадійному процесі. Основною сировиною виступають каолін, кальцинова сода, сірка та відновник (вугілля або кокс). На першій стадії (відновний випал) утворюється проміжний “зелений ультрамарин”. На другій стадії, під час повільного охолодження з доступом повітря, відбувається окиснення сульфідних груп до радикалів S_3^-, які забезпечують інтенсивний синій колір.

Хімічна стійкість пігменту має специфічний характер. Дослідження показують, що ультрамарин має абсолютну лугостійкість, що дозволяє використовувати його в цементних та вапнякових сумішах. Він також витримує високі температури (до 400°C) та тривалий вплив сонячного світла. Однак пігмент вразливий до дії кислот: навіть слабкі розчини спричиняють руйнування алюміносилікатного каркаса з виділенням сірководню та повним знебарвленням. Для подолання цього недоліку в промисловості використовують методи капсулювання частинок захисним шаром діоксиду кремнію.

Висновки. Синтетичний ультрамарин - це високоефективний, екологічно безпечний пігмент з унікальними колористичними властивостями. Процес отримання синтетичного ультрамарину вимагає суворого контролю температурного та газового режимів для формуваня правильної структури содаліту. Хоча пігмент демонструє відмінну стійкість до лугів, високих температур та ультрафіолету, його чутливість до кислот залишається головним обмежуючим фактором. Удосконалення технології поверхневої обробки частинок дозволяє розширити сферу застосування цього унікального синього пігменту в агресивних середовищах. Його виробництво вимагає точного дотримання окислювально-відновних режимів. Завдяки абсолютній стійкості до лугів та світла він залишається основним синім пігментом для будівельної та пластикової індустрії, попри вразливість до дії кислот.

Література

1. Pfaff G. The world of inorganic pigments. 2022. URL: https://doi.org/10.1007/s40828-022-00166-1 (Last accessed: 29.03.2026р)

Літопон: його властивості та практичне використання

Діана Миткевич, Ігор Фесич
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Актуальність теми зумовлена необхідністю обґрунтованого вибору малотоксичних ахроматичних пігментів для інтер'єрних лакофарбових матеріалів. Метою роботи є аналіз фізико-хімічних властивостей літопону для визначення оптимальних сфер його практичного застосування як альтернативи дорожчим білим пігментам.

Матеріали і методи. Використано методи інформаційного пошуку, узагальнення та аналізу даних літератури. Об’єктом дослідження є літопон — білий порошкоподібний пігмент змінного складу.

Результати. Літопон являє собою механічну суміш сульфіду цинку та сульфату барію. Встановлено, що «нормальний» літопон містить 29,4 % сульфіду цинку, що відповідає формулі сульфід цинку сульфат барію. У складі пігменту саме сульфід цинку виконує основну пігментну функцію, тоді як сульфат барію відіграє роль наповнювача.

Середній розмір частинок літопону становить 0,5–1 мкм. Кристали сульфіду цинку мають гексагональну сингонію (вюртцит), а сульфату барію — ромбічну. Показник рефракції (коефіцієнт заломлення) пігменту знаходиться в межах 1,84–2,08.

Сполука виявляє високу стійкість до дії лугів, органічних кислот та кислих газів. Проте під дією мінеральних кислот сульфід цинку розкладається з виділенням сірководню. Літопон є малотоксичним пігментом через низьку розчинність сульфіду цинку; гранично допустима концентрація (ГДК) у повітрі робочої зони становить 6 мг/м^3.

Суттєвим обмеженням у використанні є фотохімічна активність: під дією світла покриття може оборотньо темніти (явище фототропії) через присутність домішок оксиду цинку, що відновлюється до металевого цинку. У темряві колір відновлюється внаслідок окиснення цинку. На відміну від оксиду цинку, літопон не взаємодіє з продуктами деструкції плівкоутворювачів, що дозволяє застосовувати його у водно-дисперсійних системах (наприклад, полівінілацетатних) та сильнополімеризованих оліях. Шпатлівки на основі літопону легко шліфуються та мають гарні реологічні властивості.

Висновки. Наукова новизна полягає у підтвердженні інертності літопону до плівкоутворювачів, що робить його ефективним для водно-емульсійних фарб та виробництва лінолеуму. Рекомендовано використовувати його для внутрішніх робіт як економічну та менш дефіцитну заміну цинковим білилам.

Література

1. Гуріна Г. І. Пігменти : навч. Посібник. Г. І. Гуріна. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. С. 94-97

Особливості багатотонажного виробництва технічної хлоридної кислота сульфатним способом

Злата Гарницька, Тетятна Бойчук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Хлоридна кислота – це неорганічна кислота, яка широко використовується як в лабораторній практиці, органічному синтезі, медицині, так у промисловості: гальванопластиці, гідрометалургії тощо. Серед способів одержання цієї кислот чинне місце займає сульфатний.

Матеріали та методи. В роботі проведено літературний огляд технології одержання технічної HCl сульфатним способом, що описується рівнянням реакції:

$$2NaCl + H_2SO_4 \leftrightarrow Na_2SO_4 + 2\ HCl - - 40{,}25\ кДж$$

Результати. Сульфатний метод є найбільш старим способом одержання хлороводню. Спочатку цільовим продуктом у цьому способі був натрій сульфат, який використовувався для одержання соди. Газоподібний HCl розглядався як відходи виробництва і викидався в атмосферу, що мало негативні наслідки. І лише з 1827 р. хлороводень почали поглинати водою і, таким чином, одержувати хлоридну кислоту. Виробництво хлоридної кислоти сульфатним методом складається з двох основних стадій.

І стадія – взаємодії натрій хлориду з концентрованою сульфатною кислотою:

$$NaCl + H_2SO_4 \leftrightarrow NaHSO_4 + HCl$$

$$NaCl + NaHSO_4 \leftrightarrow Na_2SO_4 + HCl\ .$$

Сировиною є подрібнений NaCl і 92–93 %-на сульфатна кислота. Розкладання NaCl сульфатною кислотою здійснюється в безупинно діючих печах. У промисловості застосовуються муфельні та обертові механічні сульфатні печі. Процес розкладання NaCl 93 %-ною сульфатною кислотою теоретично повинен супроводжуватись утворенням газу з вмістом 83 % HCl і 17 % H_2O, а сухий газ повинен складатися лише з HCl. Водночас, для запобігання проникнення газу в навколишнє середовище усередині муфеля підтримується невеликий вакуум 1–2 мм вод ст., що призводить до підсмоктуванням у муфель повітря і димових газів, які розбавляють хлороводень. В зв'язку з чим практично вміст HCl у сухому газі складає 30–50 % .

Важливим фактором проходження цієї стадії є відповідний температурний режим реакційної суміші. Так, утворюваний натрій сульфат може повністю залишатися в рідкій фазі або частково кристалізуватись із неї у вигляді кислих солей. Запобігання передчасного затвердіння реакційної маси досягається високою температурою, реакцію проводять при ~500^0C.

ІІ стадія – абсорбція хлороводню водою з утворенням хлоридної кислоти. Розчинення хлороводню у воді є екзотермічним процесом. Таким чином необхідно відводити значну кількість тепла. За способами відводу тепла методи абсорбції поділяють на ізотермічний, адіабатичний та комбінований.

Висновки. Недоліком сульфатного способу є невисока концентрація і недостатній ступінь чистоти одержуваного хлороводню. Цим способом вдається одержати технічну хлоридну кислоту, що містить не більше 28-32% HCl, забруднену арсеном, залізом та іншими домішками. Не зважаючи на це, саме сульфатним способом одержується близько 75% всієї хлоридної кислоти.

Section 18

Power equipment, heat and power systems of industry enterprises

Секція 18

Енергетичне обладнання, системи тепло-електропостачання промислових підприємств

18.1.

Industrial power

18.1.

Промислова теплоенергетика

Heat Transfer Intensification Using Nanofluids in Heat Exchangers

Yehor Koval, Roman Hryshchenko, Andrii Forsiuk
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. This work involves a computational numerical investigation of heat transfer intensification and hydraulic resistance variation in a U-shaped microchannel of a heat exchanger, utilizing an H_2O-Al_2O_3 nanofluid for compact cooling systems.

Materials and Methods. The flow of pure water (H_2O) with various volume fractions of Al_2O_3 nanoparticles (2%, 3%, and 4%) was investigated. The simulation was performed in Ansys Fluent software using a homogeneous single-phase model. Channel geometry: diameter 1 mm, bending radius 3 mm. Boundary conditions: inlet velocity 0.1 m/s (laminar regime), initial temperature 293.15 K, wall heat flux 5000 W/m². A hexahedral mesh with the parameter $y^+ \approx 1$ was utilized.

Results and Discussions. To analyze the cooling efficiency, the average channel wall temperature (T_w), pressure drop (ΔP), local heat transfer coefficient (α), and Nusselt number (Nu) were determined. The results are summarized in Table 1.

Table 1 – Thermohydraulic characteristics of the microchannel flow

Concentration Al_2O_3	T_w, K	ΔP, Pa	α, W/(m²·K)	Increase α, %	Nu
0%	297,186	365,18	2750,2	-	4,59
2%	297,130	384,25	2867,3	+ 4,2	4,53
3%	297,105	394,13	2908,5	+ 5,7	4,45
4%	297,073	404,70	2971,1	+ 8,0	4,41

The CFD analysis revealed that for the base fluid (H_2O), Tw was 297,186 K at ΔP = 365,18 Pa. The application of a nanofluid with a 2% volume fraction yielded a decrease in Tw to 297,130 K: concurrently, α increased by 4,2%, and the resistance increased by 5,2%. Elevating the concentration to 3% and 4% resulted in an α increment of 5,7% and 8,0%, but led to a disproportionate rise in ΔP by 7,9% and 10.8% (up to 404,70 Pa) due to a substantial increase in viscosity. The decrease in Nu to 4.41 at a 4% concentration indicates that the thermal conductivity of the mixture increases at a faster rate than the convective component of heat transfer. This phenomenon occurs due to the thickening of the viscous laminar boundary layer near the wall and the suppression of secondary Dean vortices.

Conclusions. The energetic feasibility of using a 2% concentration of Al_2O_3 has been proven, providing a rational compromise between heat transfer intensification (+4,2%) and the increase in hydraulic resistance (+5,2%). Higher concentrations are considered ineffective.

References.

1. Porgar S., Huminic G., Huminic A., Najibolashrafi R., Salehfekr S. Application of nanofluids in heat exchangers – A state-of-the-art review // International Journal of Thermofluids. – 2024. – Vol. 24. – Article 100945. – DOI: 10.1016/j.ijft.2024.100945

2. Alami A. H., Ramadan M., Tawalbeh M., Haridy S., Al Abdulla S., Aljaghoub H., Ayoub M., Alashkar A., Abdelkareem M. A., Olabi A. G.A critical insight on nanofluids for heat transfer enhancement // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – Article 15303. – DOI: 10.1038/s41598-023-42489-0

Спрощене енергетичне моделювання виробничого підприємства

Максим Кривошеєв, Олександр Черняк, Олексій Пилипенко, Роман Грищенко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Розрахунок теплових навантажень виконується відповідно вимог ДБН. Однак, перехід до динамічного енергомоделювання з використанням погодинних кліматичних даних гарантує прецизійну точність у підборі інженерного обладнання та дозволяє оцінити реальну енергоефективність об'єкта ще на етапі концепції.

Матеріали та методи. Робота поєднує аналітичний огляд науково-технічної літератури з оцінкою теплонадходжень та тепловтрат визначених у програмному середовищі OpenStudio з використанням розрахункового ядра EnergyPlus, що забезпечило проведення погодинної симуляції енергетичних процесів.

Результати та обговорення. До розгляду прийнято виробничу будівлю з металевим каркасом і стінами з сандвіч-панелей. Утеплювач – ПСБ-С товщиною 100 мм. Довжина будівлі в осях 96 м, ширина 48 м, висота до низу ферм покриття 9,6 м. Будівля окремо стояча повернута на 40° відносно півночі, має двоє воріт розміром 2×2 м які виходять безпосередньо на вулицю. Світлопрозорі конструкції виготовлені з стільникового полікарбонату товщиною 40 мм та розміщені на довгих сторонах будівлі. Розмір вікон 1,2×90 м. Технологічний процес передбачає цілодобову роботу цеху із внутрішніми тепловиділеннями на рівні 1000 кВт та кількістю одночасно працюючого персоналу на рівні 85 осіб. Підприємство не працює у вихідні та святкові дні. Вентиляція приміщення мінімальна і складає 1,5 крат.

Математичне моделювання тепловтрат та теплонадходжень проводилося на розрахункові та не розрахункові параметри зовнішнього повітря, а саме: -22 ^{o}C, -18 ^{o}C, -4 ^{o}C, +1 ^{o}C, +8 ^{o}C, +15 ^{o}C, +25 ^{o}C, +35°C. Спрощений розрахунок включав в себе визначення: тепловтрат через огороджувальні конструкції, внутрішніх тепловиділень від працюючого освітлення та устаткування, внутрішніх тепловиділень від персоналу, тепловтрат від припливного повітря. Спрощене енергетичне моделювання виконувалося за допомогою платформи Open Studio. В якості розрахункових параметрів зовнішнього повітря використано погодний файл для м. Києва.

Аналіз отриманих результатів:

1) енергетичне моделювання демонструє схожість результатів розрахунку навантаження на опалювальну систему із теплотехнічними розрахунками за середньодобової температури навколишнього повітря -4 ^{o}C;
2) за 100 % завантаженості виробництва є потреба у роботі системи кондиціювання протягом всього року;
3) збільшення кратності циркуляції повітря в робочі дні та відключення системи вентиляції у вихідні дозволяють зменшити річне споживання енергоносіїв на потреби систем опалення та кондиціювання;
4) актуальні погодинні файли вказують на незначну кількість днів із розрахунковими температурами навколишнього повітря, тому проводити розрахунки інженерних мереж на нормативні температури повітря не доцільно.

Висновок. Застосування інструментів динамічного енергетичного моделювання забезпечує комплексну оцінку режимів роботи інженерних мереж протягом року. Що дозволяє кількісно обґрунтувати вибір оптимальних та енергоефективних рішень для систем опалення і кондиціювання повітря.

Каскадний охолоджувач на базі напівпровідникових термоелектричних модулів

Катерина Пилипенко[1], Андрій Постоєв[2], Олексій Пилипенко[2]
1 – Ліцей №59, Київ, Україна
2 – Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Створення дешевої, компактної, безвібраційної холодильної машини для потреб радіоелектронних пристроїв є актуальною задачею. Пропонується розробка каскадної термоелектричної холодильної машини на базі модулів TEC1-12706.

Матеріали та методи. Виконано аналітичний огляд інформаційних джерел. Розроблено конструкцію та аналітично визначені робочі параметри каскадної холодильної машини. Проведені експериментальні дослідження працездатності холодильної машини із залученням термопар типу Т, перетворювачів сигналу фірми DCON та програми первинної обробки даних EZ Data Logger, пірометру GM550 та тепловізору HT-04. Проведено аналіз експериментальних даних у вигляді графіків.

Результати та обговорення. Використовуючи в якості прототипу багатокаскадний термоелектричний модуль (ТЕМ), спроектовано (рис. 1) та змонтовано двоступеневу термоелектричну холодильну машину на базі найбільш розповсюджених модулів TEC1-12706. Проєктна температура охолоджуваного середовища від -30 °С і нижче, а холодильна потужність приладу за найнижчої робочої температури не менше 5 Вт.

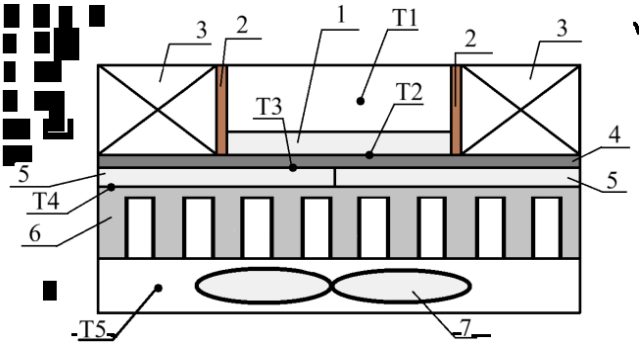


Рис. 1. Принципова схема пропонованої каскадної холодильної машини
1 – ТЕМ І-го рівня, 2 - пластикові пластини, 3 – теплоізоляція, 4 – мідна пластина, 5 – ТЕМ ІІ-го рівня, 6 - радіатор, 7 – вентилятор; Т1 ÷ Т5 –термопари

Для оптимізації системи електроживлення модулів ІІ-го рівня каскаду, використано комбіновану послідовно-паралельну схему їх підключення до джерела живлення. Номінальний розрахунковий струм живлення становив 8 А при напрузі джерела живлення 23 В. Розрахункове тепловиділення ТЕМ ІІ-го рівня 233 Вт.

З метою перевірки працездатності розробленої холодильної машини проведено ряд натурних експериментів. Результати досліджень демонструють значну не збалансованість теплової потужності ТЕМ І-го та ІІ-го рівнів, та не достатньо інтенсивне охолодження «теплої» сторони модулів ІІ-го рівня. Головним недоліком зібраної установки виявилися не якісні модулі TEC1-12706, про що свідчать тепловізійні зображення та не відповідність отриманої різниці температур на обкладинках ТЕМ споживаному струму і напрузі живлення.

Висновок. Створення каскадної термоелектричної холодильної машини на базі серійно виготовлених модулів TEC1-12706 є можливим за умови використання якісних модулів та інтенсивного охолодження «теплої» сторони.

Теплоємність льоду в диференціальному рівнянні швидкості льодоутворення

Катерина Пилипенко[1], Олексій Пилипенко[2]
1 – Ліцей №59, Київ, Україна
2 – Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Переважна більшість рівнянь із визначення часу або швидкості льодоутворення не враховують теплоємність льоду. Проте враховувати теплоємність льоду під час визначення часу льодоутворення є необхідним.

Матеріали та методи. Виконано аналітичний огляд інформаційних джерел та математичне моделювання процесу льодоутворення на вертикальній циліндричній поверхні з врахуванням механізму переохолодження накопиченого шару льоду.

Результати та обговорення. Для вирішення поставленої задачі проведено широкий літературний огляд за наступними напрямками: процесом кристалізації води та структура льоду, основні теплофізичні характеристики льоду, аналіз існуючих в літературі рівнянь із визначення часу кристалізації, товщини льоду, динаміки льодоутворення.

Для врахування теплоти що виділяється при переохолодженні льоду розглядалася задача висвітлена у [1]. До теплових потоків зазначених у [1] додаємо тепловий потік від переохолодження льоду приведений до одиниці довжини труби.

Для представлення теплового потоку від переохолодження льоду q_c у диференціальному вигляді прийнято що змінним в часі dτ є деякий незначний приріст товщини льоду dr.

$$q_c = \pi \cdot (d_{зов} \cdot r + d_{зов} + 2 \cdot r + r^2) \cdot \rho_л \cdot c_{р.л} \cdot \left(\frac{\theta_0 - t_0}{2}\right) \cdot dr$$

Припускаємо, що теплота від переохолодження льоду q_c надходить до киплячого холодильного агенту через повну товщину льоду. Тобто, точкою прикладання теплоти q_c є межа розподілу фаз (лід – вода).

Підставляючи отримане рівняння q_c до теплового балансу представленого у [1] та виконуючи аналогічні до [1] перетворення, одержано диференціальне рівняння для визначення швидкості намороження льоду з врахуванням накопичення «холоду» шаром льоду:

$$\frac{dr}{d\tau} = \frac{\left\{ \dfrac{\theta_0 - t_0}{\dfrac{1}{2\cdot\lambda_л}\cdot\ln\dfrac{d_{зов}+2\cdot r}{d_{зов}} + \dfrac{1}{2\cdot\lambda_м}\cdot\ln\dfrac{d_{зов}}{d_{вн}} + \dfrac{1}{\alpha_0\cdot d_{вн}}} - \alpha_w\cdot\left(d_{зов}+2\cdot r\right)\cdot\left[\left(t_w-\theta_0\right)+\dfrac{\omega^2\cdot\left(2+\dfrac{1}{\mathrm{Pr}_w}\right)}{3\cdot C_{p.w}}\right]\right\}}{\left(d_{зов}\cdot r + d_{зов} + 2\cdot r + r^2\right)\cdot\rho_л\cdot C_{р.л}\cdot\left(\dfrac{\theta_0 - t_0}{2}\right) + \rho\cdot\left(d_{зов}+2\cdot r\right)}$$

Висновок. Запропоновано спосіб врахування теплоти охолодження шару льоду та удосконалено диференціальне рівняння швидкості кристалізації води у напрямку врахування не нульової теплоємності накопиченого льоду.

Література

1. Yaroslav Zasiadko, Oleksiy Pylypenko, Roman Gryshchenko, Andriy Forsiuk (2015), Experimental and theoretical study of ice formation on vertical cooled pipes, Ukrainian Food Journal, 4(3), pp. 494-507

Вихрове спалювання низькокалорійних генераторних газів в технологіях waste-to-energy

Єгор Дубиченко, Людмила Гапонич
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Газифікація є перспективною технологією перетворення сільськогосподарських відходів, відходів харчової та деревообробної промисловості, пелет, брикетів з біомаси на енергетичні продукти. Метою газифікації такого палива є отримання горючого виробничого газу. Однак існує ряд ключових технологічних викликів, які уповільнюють комерційне застосування газифікації біомаси та відходів для генерації електроенергії. Газифікатори, що працюють на біомасі та різноманітних відходах ТПВ/RDF, забезпечують теплоту згоряння генераторного газу на рівні 4–10 МДж/$м_н^3$, що ускладнює його спалювання через нестабільність горіння [1].

Матеріали та методи. Для дослідження було виконано CFD-аналіз за допомогою пакету прикладних програм ANSYS. Проведено комп'ютерне моделювання спалювання генераторного газу з теплотою згорання 4 МДж/$м^3$ у вихровій камері згоряння в широкому діапазоні змінення початкового параметру закрутки: S_N = 0,76 – 3,54. Досліджено вплив S_N на поля швидкостей, температур і турбулентності потоку в камері згорянні при вихровому дифузійному спалюванні генераторного газу.

Результати та обговорення. При високому параметрі закрутки S_N = 3,54 внизу течії утворюються чотири вихрові структури, що свідчить про більш складну багатоконтурну циркуляцію та більш активне змішування паливно-окиснювальної суміші. При зменшенні параметра закрутки мають місце два основних вихори, їх розмір збільшується, і при S_N = 0,76 зона рециркуляції охоплює практично весь об'єм камери. Це вказує на суттєве зменшення багатоконтурної структури та більш однорідну циркуляцію в межах камери.

Рівень турбулентності також залежить від початкової закрутки потоку в вихровій камері. Найвища турбулентність має місце в районі обтікання стабілізатора. Зниження початкового параметра закрутки S_N з 3,54 до 2,23 призводить до зниження рівня турбулентності приблизно втричі, що пов'язано з упорядкуванням потоку та змінами у його структурі.

Максимальна температура потоку має місце біля стінок патрубку на виході із вихрової камери та в районі стабілізатора горіння, в зоні максимальної турбулентності потоку.

Зростання закрутки призводить до більш інтенсивного змішування та інтенсифікації взаємодії між паливом та окиснювачем, що сприяє зниженню вмісту оксидів вуглецю (у 2 рази) в продуктах згоряння, що вказує на більшу ефективність спалювання генераторного газу.

Висновки. Підвищення закрутки покращує змішування, зменшує багатоконтурність та знижує CO-викиди в продуктах згоряння. При оптимальних параметрах забезпечується більш рівномірна тепловіддача та підвищена ефективність спалювання генераторного газу.

Література

1. Кобзар С. Г., Гапонич Л. С., Борисов І. І., Халатов А. А. (2025). Огляд вихрових технологій утилізації низько- та середньокалорійних газів у технологіях Waste-To-Energy та Waste-To-Gas. *Відновлювана енергетика*, 3 (82), 234-252. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2025.3(82).234-252

Теплотехнологічні показники цукрового виробництва при використанні вакуум-апаратів періодичної дії з механічними циркуляторами для уварювання утфелю І кристалізації

Тетяна Фогель, Михайло Масліков
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Метою даної роботи є визначення ефективності та теплотехнологічних показників вакуум-апаратів періодичної дії з механічними циркуляторами в процесі варіння утфелю І кристалізації.

Методи досліджень. Методика розрахунку теплотехнологічних показників процесу уварювання утфелю першої кристалізації у вакуум-апаратах періодичної дії з механічними циркуляторами.

Результати і обговорення. Кристалізаційне відділення є найбільшим споживачем вторинної пари з випарної установки, витрата якої суттєво впливає на величину і рівномірність відпуску пари з ТЕЦ на технологічні потреби. На базі існуючих моделей та експериментальних даних розроблена методика розрахунку, з використанням якої визначено ефективність проведення технологічного процесу уварювання утфелю першої кристалізації у вакуум-апаратах періодичної дії з механічними циркуляторами.

З метою апробації методики для цукрового заводу продуктивністю 20 т/добу, чистоти і концентрації сиропу, відповідно, 90 % і 68 %, вакуум-апарата для уварювання утфелю 1 кристалізації ВАЦМ-40 з механічним циркулятором виробництва ТОВ «Фірма ТМА» продуктивністю 40 т розраховані: оптимальна тривалість варіння утфелю; зміна витрати нагрівної пари під час варіння та інші теплотехнологічні показники. Режимні параметри роботи вакуум-апарата визначено протягом кожного з чотирьох характерних періодів циклу варіння, що відрізняються споживанням нагрівної пари. Для підвищення рівномірності споживання пари з випарної установки запропоновано режим варіння утфелю першої кристалізації двома апаратами періодичної дії, розраховано графік їх включення у роботу та споживання пари всіма працюючими вакуум-апаратами (рис.1).

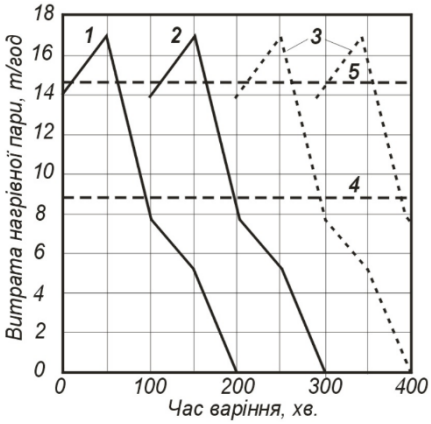


Рис. 1. Тривалість варіння і зміна витрати нагрівної пари на вакуум-апарати І кристалізації:
1 – в/а № 1; 2 – в/а № 2; 3 – почергове включення наступних апаратів; 4,5 – середні витрати пари при одному та двох працюючих апаратах (відповідно 8,8 і 14,7 т/год).

Висновок. Використовуючи розроблену методику визначено: оптимальну тривалість циклу варіння та інші теплотехнологічні параметри варіння утфелю першої кристалізації у вакуум-апаратах періодичної дії з механічними циркуляторами. Розраховано режим варіння двома апаратами, графік їх включення у роботу та споживання пари всіма працюючими вакуум-апаратами.

Теплообмін під час конденсації водяної пари з парогазової суміші на вільностікаючих струменях рідини.

Денис Красильник, Володимир Бондар
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Проведене теоретичне дослідження процесу конденсації водяної пари з парогазової суміші на вільностікаючих струменях рідини, що витікають через циліндричні розподільчі пристрої в паровий простір з низьким вмістом неконденсованих газів.

Матеріали та методи. Теоретично досліджувався процес конденсації водяної пари з парогазової суміші на струменях рідини за протитечійного руху фаз. Предмет дослідження – струменеві течії краплинної рідини з конденсацією пари на їх поверхні. Методи дослідження – теоретичний аналіз літературних джерел.

Результати та обговорення. Аналіз сучасних літературних джерел, в яких досліджувався процес конденсації водяної пари з парогазової суміші на струменях рідин дозволяє зробити висновок, що найбільша кількість досліджень має переважно експериментальний характер і були проведені для невеликого діапазону змін режимних параметрів. Тобто, результати цих досліджень некоректно використовувати для іншого діапазону режимних параметрів рідинних та парових потоків які характерні для теплообмінного обладнання харчової промисловості. Ще однією особливістю є те, що в існуючих джерелах, які описують процес конденсації водяної пари на струменях рідин в переважній кількості, в теплових розрахунках приймалась площа поверхні суцільного циліндричного струменю рідини. Але під час витікання рідини через циліндричні отвори в паровий простір за протитечійного руху фаз форма струменю відрізняється від циліндричного, а суцільність структури струменів залежить від параметрів течії, рух струменю характеризуються обертанням з інтенсивним хвилеутворенням та зміною суцільноїсті структури. Відповідно, застосування існуючих методик розрахунків процесів конденсації водяної пари на струменях рідини цього типу можливо тільки для суцільних струменів рідин і тільки для тих режимних параметрів потоків, для яких проводилось експериментальне дослідження. Тобто, використання класичних рівнянь теплообміну з врахуванням площі контакту фаз стає неможливим, а саме, відсутня можливість використовувати традиційне рівняння теплопередачі. Тому більшість існуючих методик розрахунків базується на використанні безрозмірністних комплексів, які описують ступінь зміни температури рідини вздовж довжини струменів чи інтенсивності тепловіддачі за відповідних геометричних умов. Також на початку термодинамічного дослідження процесів конденсації водяної пари на струменях рідин, а також перед етапом моделювання необхідно провести гідродинамічне дослідження з встановленням меж змін суцільної структури струменю рідини.

Висновки. Провівши теоретичне дослідження процесу конденсації водяної пари з парогазової суміші на струменях рідини, встановлено, що на цей час не існує універсальної моделі, яка б дозволила описати процес конденсації водяної пари з парогазової суміші на струменях рідини, що витікають через циліндричні розподільчі пристрої і відповідно виникає задача в проведені експериментального теплогідродинамічного дослідження процесу конденсації водяної пари з парогазової суміші на струменях рідини в характерному, для харчової промисловості, діапазоні змін режимних параметрів.

Біометан і біоенергетичні технології в системі енергетичної стійкості

Сергій Зайцев, Наталія Іващенко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У 2025–2026 рр. сектор біометану в Україні перейшов від окремих ініціатив до практичного масштабування виробництва, що актуалізує оцінку його ролі у зміцненні енергетичної стійкості держави.

Матеріали та методи. Узагальнено аналітичні та фактологічні матеріали щодо розвитку біометану, біогазових електростанцій, розподіленої генерації та біоенергетичних технологій в Україні. Використано дані про введення нових біометанових потужностей, інституційні зміни в секторі та модернізацію біогазової інфраструктури. Застосовано методи аналітичного узагальнення, порівняння та структурної оцінки.

Результати та обговорення. У 2025 р. біометанова галузь України демонструвала швидке зростання: станом на червень працювали 4 біометанові заводи із сумарною потужністю 41 млн м³/рік, а до кінця року очікувалося збільшення виробництва до 111 млн м³/рік. До нових проєктів 2025 р. належать установки МНР у Дніпропетровській області потужністю 11 млн м³/рік та у Вінницькій області у форматі Bio-LNG потужністю 24 млн м³/рік, а також проєкт ТОВ «ЮМ ЛІКВІД ГАЗ» у Вінницькій області потужністю 11 млн м³/рік.

У 2026 р. введено в експлуатацію завод Теофіпольської енергетичної компанії проєктною потужністю близько 56 млн м³/рік із прямим підключенням до ГТС України; після його запуску кількість виробників біометану зросла до 6, а сумарна потужність — до 106 млн м³/рік. Запуск Реєстру біометану забезпечив цифровий облік виробництва, ін'єкції в ГТС/ГРМ та обіг гарантій походження, що створює передумови для прозорого функціонування ринку та інтеграції українського сектору до європейського енергетичного простору.

Паралельно модернізується біогазова інфраструктура. На заводі Vitagro Energy з 1 листопада 2025 р. введено когенераційну установку потужністю 400 кВт, що дає змогу заміщувати близько 2,6 млн кВт·год електроенергії на рік і скорочувати викиди більш ніж на 1000 т CO_2/рік. Отримані дані свідчать, що сектор біометану і суміжних біоенергетичних рішень переходить до системного розширення виробництва, інтеграції з газовою інфраструктурою та виходу на зовнішні ринки. Поєднання біопаливних ТЕС, біогазових і біометанових установок, когенераційних і тригенераційних систем дає змогу підвищувати гнучкість, автономність енергетичного сектору.

Висновки. Біометан і біоенергетичні технології стають важливою складовою підвищення енергетичної стійкості України. Їх розвиток сприяє заміщенню імпортних енергоносіїв, підвищенню гнучкості енергосистеми та формуванню передумов для декарбонізації енергетичного сектору.

Література

1. Annual Activity Report 2025 [El. resource] / Bioenergy Association of Ukraine. 2026. URL: uabio.org/wp-content/uploads/2026/02/ UABIO_ENG_2025_ compressed.pdf

2. Biomethane in Ukraine: opportunities and development [El. resource]/Bioenergy Association of Ukraine. 13.06.2025. URL: uabio.org/en/news/17950/

Батареї Карно як технологія довготривалого зберігання відновлюваної енергії

Віталій Чубенко[1], Наталія Іващенко[2]
1 – Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна
2 – Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Зростання частки сонячної та вітрової генерації актуалізує потребу в довготривалому зберіганні електроенергії; у цьому контексті батареї Карно розглядаються як перспективна технологія підвищення гнучкості та декарбонізації енергосистем.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження були сучасні наукові статті та аналітичні огляди, присвячені технологіям Carnot Battery, Pumped Thermal Energy Storage та Liquid Air Energy Storage. Аналіз виконано за показниками енергоефективності, робочих температур, тривалості віддачі енергії, рівня технологічної готовності, масштабованості та можливостей інтеграції з існуючою тепловою інфраструктурою.

Результати. Показано, що батареї Карно охоплюють кілька основних напрямів: Brayton-PTES, Rankine-PTES, LAES та гібридні концепції. Для Brayton-PTES характерні високі робочі температури та ККД повного циклу на рівні 60–70 %, однак їх впровадження ускладнюється вимогами до високотемпературного обладнання й матеріалів. Rankine-PTES працюють у нижчому температурному діапазоні, орієнтовно від −30 до 400 °C, і забезпечують ККД близько 50–60 %, що створює переваги для інтеграції з низькопотенційними та утилізаційними джерелами теплоти. Найвищу технологічну зрілість серед розглянутих рішень сьогодні демонструють LAES-системи: реалізовано пілотні установки 350 кВт/2,5 МВт·год та 5 МВт/15 МВт·год, а також комерційний проєкт потужністю 5 МВт із тривалістю розряду 4 год. Узагальнення джерел показало, що батареї Карно є доцільними передусім для тривалості віддачі понад 10 год, а також для модернізації наявних теплових станцій за концепцією Power-to-Salt із використанням розплавлених солей і частковим збереженням існуючої інфраструктури. Порівняльний аналіз показав, що практична конкурентоспроможність батарей Карно найбільшою мірою зростає в тих випадках, коли система зберігання поєднується з наявними джерелами скидної теплоти або з модернізацією існуючих енергетичних об’єктів. Це розширює можливості їх застосування як для балансування енергосистеми, так і для повторного використання промислових енергетичних активів у процесі декарбонізації.

Висновки. Ключовими перевагами батарей Карно є масштабованість, відсутність жорстких географічних обмежень і можливість використання відносно доступних теплоакумулювальних матеріалів. Практичне впровадження таких систем є перспективним для формування гнучких, децентралізованих і низьковуглецевих енергосистем.

Література

1. Dumont O. et al. Carnot battery technology: A state-of-the-art review. Journal of Energy Storage. 2020. Vol. 32. 101756.

2. Benato A., Stoppato A. Carnot battery development: A review on system performance, applications and commercial state-of-the-art. Journal of Energy Storage. 2022. Vol. 51. 104480.

Розвиток вітроенергетики в Україні як чинник енергетичної стійкості

Вілінський Юрій, Наталія Іващенко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Зростання ролі вітроенергетики в ЄС та розширення вітроенергетичних проєктів в Україні актуалізують оцінку її значення для енергетичної стійкості, післявоєнного відновлення та інтеграції до європейського ринку електроенергії.

Матеріали і методи. У роботі узагальнено аналітичні матеріали МЕА щодо розвитку світової електроенергетики та відкриті дані про сучасні вітроенергетичні проєкти в Україні. Для оцінювання тенденцій використано відомості про Тилігульську ВЕС, вітропарк ОККО у Волинській області та заявлені інвестиційні плани ЄБРР у секторі відновлюваної енергетики. Застосовано методи аналітичного узагальнення, порівняння та структурної оцінки.

Результати. Вітер – давнє джерело енергії, яке людство використовувало для вітряків, вітрильного спорту, повітряного транспорту, сушіння тощо. Сьогодні багато країн зосереджуються на дослідженнях вітрових турбін для виробництва електроенергії, однак процес виробництва електроенергії на вітрових електростанціях має стохастичний (випадковий) характер, оскільки залежить від кліматичних умов. Вони можуть дуже сильно змінювати свій характер, і тому енергетичні системи на базі ВДЕ не можуть гарантовано забезпечити необхідний рівень виробленої потужності. Встановлено, що вітроенергетика посідає дедалі важливіше місце у структурі світової та європейської генерації: частка змінних ВДЕ, зокрема вітру й сонця, зросте з 17 % у 2025 р. до 27 % у 2030 р., а в ЄС частка вітрової генерації збільшиться з 17 % до 25 %. Це свідчить про перетворення вітрової енергетики на системоутворюючий сегмент ринку електроенергії. Для України така траєкторія є важливою з огляду на синхронізацію з енергетичним простором ЄС і підвищення інвестиційної привабливості галузі. Практичним прикладом є Тилігульська ВЕС на Миколаївщині, проєктна потужність якої становить 500 МВт, а очікуване річне виробництво електроенергії - близько 1,7 ТВт·год; у 2025 році на розширення станції заявлено 450 млн євро інвестицій. Активний розвиток спостерігається і в західних регіонах: у Волинській області завершено монтаж 25 турбін вітропарку ОККО загальною потужністю 147 МВт. Додатковим підтвердженням перспектив сектору є формування ЄБРР портфеля приватних проєктів на 2026 рік, до якого входить близько 570 МВт вітрових електростанцій. Разом з тим подальше масштабування вітроенергетики потребує розвитку мереж та засобів балансування, оскільки саме мережеві обмеження дедалі частіше стримують нові приєднання.

Висновки. Вітроенергетика є одним із ключових напрямів формування стійкої енергосистеми України та відповідає довгостроковим європейським тенденціям розвитку ринку електроенергії. Її подальше розширення доцільно поєднувати з модернізацією мереж, розвитком систем накопичення енергії та активним залученням приватних інвестицій.

Література

1. Electricity 2026 [Electronic resource] / International Energy Agency. 2026. URL: https://www.iea.org/reports/electricity-2026
2. Tyligulska wind farm [Electronic resource] / DTEK Renewables. URL: https://renewables.dtek.com/en/tyligulska/

Аналіз енергоефективності схемних рішень холодильних машин для отримання наднизьких температур кипіння

Володимир Калиновський, Олексій Пилипенко, Андрій Форсюк, Максим Масліков
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Однокомпресорні (автокаскадні) системи глибокого охолодження наразі широко застосовуються задля генерації холоду кріогенного рівня (від -60°C до -120°C і нижче). Актуальним завданням постає зіставлення їхніх показників термодинамічної досконалості з традиційними багатоступеневими контурами.

Матеріали та методи. Здійснено ґрунтовний критичний скринінг фахової літератури стосовно наявних інженерних конфігурацій. Дослідження базується на класичному енергетичному підході, котрий уможливив розрахунок базових критеріїв ефективності аналізованих циклів за умови експлуатації альтернативних робочих сумішей.

Результати та обговорення. Ключова ціль полягала у зіставленні параметрів однокомпресорного автокаскаду (корисне навантаження 195 Вт, рівень випаровування мінус 120 °C, рубіж конденсації плюс 28 °C) з іншими схемами за ідентичних зовнішніх факторів. Оцінка фізико-хімічних параметрів газів підтвердила раціональність застосування етану (R170), етилену (R1150) спільно з пропіленом (R1270) задля підтримки нормативних робочих тисків. Підсумкові значення проведених розрахунків зведено до першої табл. 1.

Таблиця 1. Ключові енергетичні показники проаналізованих схем

Холодильна машина	Відношення тисків за ступенями (π)	Проміжні температури (t_m), °C	Індикаторний ККД компресорів (η_i)	Теоретичний EER	Дійсний (реальний) EER
Автокаскадна	7,6	-14 / -55,6	-	-	0,078
1-ступенева (R170)	361,00	-	0,209	0,244	0,051
2-ступенева (R170)	19,00	-71	0,458	0,452	0,220
	19,00		0,494		
3-ступенева (R170)	7,12	-90	0,536	0,598	0,365
	7,12	-46	0,581		
	7,12		0,639		
Каскадна: дві гілки одноступеневі (R1150/R1270)	25,88 (нижня)	-55	0,402	0,60416	0,293
	25,25 (верхня)	-60	0,558		
Каскадна: одна гілка двоступенева, інша одноступенева (R1150/R1270)	7,46 (1ст.нижня)	t_m=-85	0,514	0,673	0,408
	7,48 (2ст.нижня)	$t_{k_н}$=-30	0,561		
	7,12 (верхня)	$t_{0_в}$=-35	0,703		

Висновки. За загальним показником EER автокаскадна холодильна машина поступається традиційним багатоступеневим аналогам. Проте,конструктивним плюсом подібної архітектури виступає наявність виключно єдиного компресорного вузла.

Моделювання енерготехнологічного комплексу цукрового заводу з установкою пароконтактного сушіння жому.

Олег Сторожук, Віталій Філоненко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Математичне моделювання об'єкту передбачає врахування в єдиному алгоритмі:

- системи експлуатаційних параметрів обох енерготехнологій, що формують структуру об'єкту: енерготехнології виробництва цукру з буряку і енерготехнології пароконтактного сушіння жому;
- адекватних рівнянь, що описують всі процеси, що реалізовані в обох енерго-технологіях.

Методи дослідження.

Об'єктом дослідження є енерготехнологічний комплекс Саливінківського цукрового заводу з установкою пароконтактного сушіння жому типу ВМА-3, інтегрованою в систему генерації та використання теплової та електричної енергії заводу.

Методика дослідження базується на складанні матеріальних, теплових та паливно-енергетичних балансів системи «ТЕЦ – цукровий завод – ПКСЖ» та використанні методів статичного математичного моделювання.

Формування алгоритмів визначення експлуатаційних параметрів всіх експлуатаційних параметрів для обох енерготехнологій.

Результати і обговорення. Результатами наведеного етапу наукового дослідження стало опрацювання робочої математичної моделі об'єкту із визначенням розрахункових числових значень технологічних, теплотехнічних та енергетичних макропоказників виробництва цукру та сухого жому та підтвердження їх відповідності фактичним експлуатаційних параметрів цукрового заводу.

Висновок. Результати дослідження засвідчили адекватність використаних моделей реальним процесам, реалізованим Саливінківським цукровим заводом під час експлуатації реальної установки пароконтактного сушіння жому типу ВМА-3, а також доцільність удосконалення створеного математичного комплексу, кінцевою метою якого є створення завершеної математичної моделі об'єкту.

Література.

1. Jensen A.S. (2007). Latest developments in drying technology for beet pulp. *Sugar Industry / Zuckerindustrie* 132 № 10.- P.748-755.
2. Філоненко В.М., Сторожук О.Т. Проблеми інтегрування установки пароконтактного сушіння бурякового жому в систему тепло споживання цукрового заводу. В зб.: XXI Міжнар. наук-практ. конф. «Теплова енергетика: шляхи реновації та розвитку» (09-10.10.25) К.-ІТЕТ НАН України. DOI 10.48126/Conf2025

Кріоскопія плодових пюре для приготування десертів

Володимир Калиновський, Максим Масліков
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Пюре з різних плодів з додаванням цукру та інших компонентів використовують для приготування фруктового морозива та інших десертів [1]. Кріоскопія пюре – це метод дослідження, що ґрунтується на вимірюванні температури початку його замерзання (кріоскопічна температура). Основні завдання кріоскопії – визначення складу пюре та розрахунок оптимальних режимів його заморожування (зокрема з мінімізацією енерговитрат). На кріоскопічну температуру пюре впливають тип сировини, ступінь подрібнення, а у разі додавання цукру та інших компонентів – їх тип та вміст. Тому кріоскопію використовують і для контролю якості – різка зміна кріоскопічної температури може свідчити про фальсифікацію (несанкціоновану зміну складу, розбавлення водою тощо). Метою досліджень було визначення кріоскопічної температури пюре з різних плодів.

Методи досліджень. Використовувався термічний метод – побудова та аналіз кривої заморожування з використанням розробленої установки [2]. Зразки плодових пюре без додавання води чи інших компонентів заморожувалися у морозильній шафі при температурі –25ºС. Температура кожного зі зразків з інтервалом 1 с одночасно вимірювалася за допомогою трьох мідь-константанових термопар з похибкою вимірювань не більше 0,1 ºС, за допомогою контролерів ICP i7018 та ICP i7520 передавалися на комп'ютер і реєструвалася. Попередньо визначалися систематичні помилки термопар, що враховувалися введенням поправок. Для компенсації можливих похибок контролерів одночасно зі зразками трьома контрольними термопарами проводили вимірювання температури у бюксі з замерзаючою дистильованою водою. За усередненими даними будували криві заморожування зразків, з аналізу яких визначали кріоскопічні температури плодових пюре.

Результати та обговорення. Отримані результати наведені у табл. 1

Табл. 1. Кріоскопічні температури плодових пюре

Сировина для пюре	*Кріоскопічна температура,* ºС	*Сировина для пюре*	*Кріоскопічна температура,* ºС
Гарбуз	–3,5	Банани	–2,6
Яблука	–3,0	Ківі	–1,8

Висновок.

Отримано дані про кріоскопічні температури плодових пюре, що дають змогу підібрати оптимальні режими виготовлення десертів на базі цих пюре.

Література:

1. Koretska I., Polyovyk V., Maslikov M., Kuzmin O. (2020). Thermophysical characteristics of frozen semifinished products for restaurant technology. *Ukrainian Journal of Food Science*. Vol. 8. Issue 2, pp. 231–240.

Алгебраїчні моделі турбулентності в низхідних плівкових течіях

Дмитро Максименко, Олексій Пустовойт, Андрій Білевич, Валентин Петренко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. В плівкових течіях міжфазна границя між рідиною та парою виконує роль демпфера, тому для плівок рідин, що стікають по вертикальній поверхні, алгебраїчні моделі турбулентності або пошарові з двома областями пригнічення турбулентності, або мають форму наближеної до параболи, зміщеної відносно середини плівки. Аналізу існуючих алгебраїчних моделей турбулентності, що застосовуються для моделювання та розрахунків процесів перенесення в стікаючих плівках присвячене дане дослідження.

Матеріали і методи. Дослідження виконано на основі аналізу опублікованих в науковій літературі моделей турбулентності для плівкових течій, отриманих на основі теоретичних моделей та результатів експериментальних досліджень процесів перенесення.

Результати та обговорення. Експериментальні дані з розподілення турбулентної в'язкості в стікаючої по нахиленому жолобу та вертикальній поверхні наведено на рис.1.

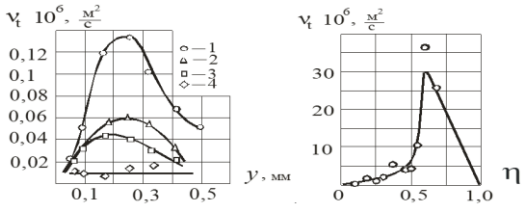


Рис. 1. Залежність турбулентної в'язкості по товщині плівки води, (t = 20 °С). а) стікання по нахиленому під кутом 9 жолобу; 1 – Re = 1834; 2 – 1462; 3 – 1099; 4 – 732,(метод поглинання CO_2) б)стікання по вертикальній поверхні Re = 1310, (метод стробоскопування мікрочастинок окису алюмінію).

Вдалими співвідношенням для турбулентної в'язкості є: співвідношення М.Д. Мілліонщикова $\frac{\nu_t}{\nu} = 0{,}39\left(\eta\delta^+ - \delta_л^+\right)(1-\eta)$, при $\frac{7{,}8}{\delta^+} \le \eta \le 1$, де $\eta = \frac{y}{\delta}$; $\eta_л = \frac{\delta_л}{\delta} = \frac{\delta_л^+}{\delta^+}$; $\delta_л^+ = \frac{\delta_л u^*}{\nu} = 7{,}8$; $\delta^+ = \frac{\delta u^*}{\nu}$; $u^* = \sqrt{\frac{\tau_i + \rho g \delta}{\rho}}$; $\delta_л = \frac{7{,}8\nu}{u^*}$, С.М.Василенка $\frac{\nu_t}{\nu} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\left(1 + l^{+2}\frac{\tau_i + \rho g(\delta - y)}{\tau_i + \rho g \delta}\right)^{0,5}$, де $y^+ = \frac{y\,u^*}{\nu}$; $l^+ = 0{,}4y^+\left[1 - \exp\left(-\frac{y^+}{26}\right)\right]\left\{1 - \exp\left[n\left(\frac{y^+}{\delta^+} - 1\right)\right]\right\}$; $n = 19{,}435\,Re^{-0,345}\,Pr^{-0,34}\left(1 + \tau_i^*\right)^{0,163}$, співвідношення, отримане на кафедрі ТЕХТ $\frac{\nu_t}{\nu} = 5\cdot 10^{-5}\,\mathrm{Re}^{1,4}\left\{1 + 3{,}6\left[1 - \exp\left(1 - \frac{d}{d_o}\right)\right]\right\} f_u(We)\,\eta^2\left(1 - \eta^2\right)$. Графічна інтерпретація наведених співвідношень

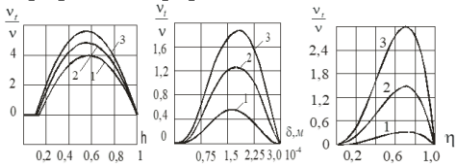


Рис. 2. Розподілення турбулентної в'язкості в перетині плівки за співвідношеннями (1, 2, 3). Криві відповідають різним числам Рейнольдса плівки.

Висновки. Розглянуто сучасні залежності для турбулентної в'язкості, які застосовуються для розрахунків процесів перенесення в стікаючих плівках .

Література.

1. Mascarenhas N., Mudawar I. (2013). Stady of the influencial waves on heat transfer in turbulent falling films. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 67, 1106 0 1121.

Вплив зустрічного парового потоку та поперечного рифлення поверхні на початок бульбашкового кипіння в стікаючих рідких плівках

Михайло Нітченко, Володимир Бойко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У плівкових випарниках рідина стікає по нагрітій вертикальній поверхні, а пара рухається назустріч у кільцевому просторі. Перехід між конвективним випаровуванням та бульбашковим кипінням – точка початку бульбашкового кипіння (ONB) — кардинально змінює характер тепловіддачі. Наявні кореляції розроблені для гладкої поверхні за умови нерухомої пари і не враховують ані геометрію інтенсифікатора, ані вплив зустрічного потоку.

Мета роботи. дослідити зміщення точки ONB у стікаючій плівці при одночасній дії зустрічного парового потоку та поперечного рифлення вертикальної поверхні й запропонувати уточнений критерій ONB.

Результати і обговорення. Поперечне рифлення (амплітуда a = 0,5–2,0 мм, крок λ = 5–20 мм) генерує вихрові зони, що оновлюють тепловий пристінний шар і підвищують тепловіддачу понад 30% [1], водночас збільшуючи щільність центрів нуклеації та знижуючи необхідний перегрів стінки. Зустрічний паровий потік чинить подвійний вплив. При помірних швидкостях (до 1–2 м/с) він збільшує товщину плівки та термічний опір, підвищуючи температуру стінки й прискорюючи ONB. При більших швидкостях (понад 2 м/с) турбулізація плівки інтенсифікує конвективних теплообмін і затримує перехід до кипіння [2]. При наближенні до межі захлинання виникають зони зі зворотною течією, що різко підвищує нерівномірність температурного поля [3], а перевищення критичної швидкості пари нівелює ефект рифлення через нестаціонарне потовщення плівки [4].

Для кількісного опису пропонується критерій: $q_{ONB} = f(Re_л, Pr, Ka, \frac{a}{\lambda}, We_п)$,

де $Re_л$, – число Рейнольдса плівки, Pr- число Прандтля, Ka – число Капіци, $\frac{a}{\lambda}$ – геометричний параметр рифлення, $We_п$ – число Вебера парового потоку, яке характеризує інерційно-капілярну взаємодію пари та вільної поверхні плівки.

Висновки. ONB на рифленій поверхні при протитечії визначається взаємодією геометрії рифлення, швидкості парового потоку та режиму плівки – жодна наявна кореляція не враховує ці фактори комплексно. Верифікацію запропонованої залежності планується виконати шляхом вимірювання осьового розподілу температури стінки за допомогою трьох термопар, розташованих рівномірно по висоті поверхні.

Література.

1. Åkesjö A., Gourdon M., Jongsma A., Sasic S. How surface modifications enhance vertical falling film evaporation. *Journal of Fluid Mechanics*. 2024. Vol. 997. Article A52. https://doi.org/10.1017/jfm.2024.623
2. Ji W.-T., Zhao E., Zhao C.-Y., Zhang H., Tao W.-Q. Falling film evaporation and nucleate pool boiling heat transfer of R134a on the same enhanced tube. *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 147. P. 113–121 https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.10.062
3. Trifonov Yu. Ya. Counter-current gas-liquid wavy film flow between the vertical plates analyzed using the Navier-Stokes equations. *AIChE Journal*. 2010. Vol. 56, No. 8. P. 1976–1987. https://doi.org/10.1002/aic.12128
4. Nada S. A., Elattar H. F. Semi analytical parametric study of rewetting/quenching of hot vertical tube by a falling liquid film in the presence of countercurrent flow of rising vapors. *International Journal of Thermal Sciences*. 2015. Vol. 97. P. 174–185. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2015.08.007

Комплексне дослідження характеристик вузлів транскритичного теплового насоса на CO_2 в умовах енергетичної трансформації

Дмитро Ждан[1], Станіслав Потапов[2]
1 – Національний університет харчових технологій, Київ, Україна
2 – ВСП КФКРГ НУХТ, Київ, Україна

Вступ. Сучасна світова енергетика перебуває у фазі глибокої трансформації, зумовленої необхідністю декарбонізації, підвищення енергоефективності та зменшення залежності від викопних палив. Зростання вартості енергоресурсів, геополітична нестабільність та розвиток електрифікації стимулюють перехід до альтернативних технологій теплопостачання. Одним із найбільш перспективних рішень є теплові насоси на CO_2 (R744), які забезпечують високу енергоефективність, екологічну безпечність та можливість інтеграції у децентралізовані енергосистеми.

Матеріали та методи. Метою дослідження є розробка комплексного підходу до аналізу взаємопов'язаних процесів у транскритичному тепловому насосі на CO_2 шляхом побудови карт характеристик основних вузлів: Компресора, Газкулера, системи циркуляції та відокремлення мастила. На відміну від традиційних підходів, у роботі запропоновано: 1. Розгляд основних елементів установки як єдиного взаємопов'язаного термогідродинамічного вузла; 2. Побудову узгодженої системи карт характеристик, що описують: масову витрату та втрати компресора; теплопередачу та ексергійні втрати газкулера; процеси мастиловиносу та їх вплив на теплообмін; 3. Використання фундаментальної термодинамічної моделі CO_2 на основі рівняння Гельмгольца.

Результати та обговорення. Отримані результати дозволять підвищити точність математичних моделей CO_2 теплових насосів, оптимізувати режими роботи системи, зменшити енергетичні втрати, покращити конструкцію теплообмінників та систем мастиловідокремлення. Результати роботи узгоджуються з глобальними тенденціями, такими як перехід від викопного палива до електроенергії, розвиток автономних енергосистем будівель, активним впровадженням теплових насосів у житловому та промисловому секторі, зростанням ролі технологій, що зменшують залежність від нестабільних енергетичних ринків.

Зокрема, теплові насоси розглядаються як ключовий елемент енергетичної інфраструктури майбутнього, що забезпечує стійкість систем до цінових і геополітичних коливань.

Висновки. Комплексний підхід до дослідження транскритичних CO_2 теплових насосів дозволяє врахувати взаємний вплив основних фізичних процесів, отримати більш точне уявлення про роботу системи, створити основу для підвищення її ефективності. Розроблена методика є перспективною для подальшого розвитку високоефективних та екологічно безпечних систем теплопостачання.

Література.

1. SINTEF Energy Research. CO_2 Heat Pump Systems: Status and Future Trends. Project Report, 2018.
2. Hafner A., Banasiak K., Kriezi E., et al. R744 ejector system field measurements and modelling. Int. J. Refrigeration, 2014.
3. Kim M.H., Pettersen J., Bullard C.W. Fundamental process and system design issues in CO_2 vapor compression systems. Progress in Energy and Combustion Science, 2004.
4. IEA Heat Pump Programme. Heat Pumps and Climate Neutrality: Technology Outlook, 2020.
5. Bitzer. Technical Information CO_2 Compressors. Bitzer SE, 2022.

Досвід практичного використання сонячної гібридної установки

Гліб Пилипчук, Андрій Форсюк, Роман Грищенко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасний етап розвитку енергетики характеризується стрімким впровадженням децентралізованих джерел генерації. Метою даної роботи є аналіз реальних експлуатаційних характеристик гібридної сонячної електростанції (ГСЕС) задля підтвердження її техніко-економічної доцільності на діючому об'єкті.

Матеріали та методи дослідження. Об'єктом вивчення виступає функціонуюча ГСЕС, до складу якої входять масиви кремнієвих фотомодулів (10,56 кВт), багатофункціональний інвертор (11 кВт) та акумуляторний блок типу LiFePO4 (20,72 кВт*год). Збір емпіричних даних здійснювався за допомогою вбудованої системи хмарного моніторингу протягом контрольного періоду (червень-грудень 2025 року та січень-березень 2026 року). Базовими методами слугували статистичний аналіз добових, тижневих та річних графіків генерації-споживання, а також хронометраж реакції автоматики на зміни параметрів зовнішньої мережі.

Результати та обговорення. Пріоритетним сценарієм виступав режим максимізації власного споживання, за якого надлишки денного виробітку спрямовувалися на заряджання батарей з подальшою їх розрядкою під час вечірніх максимумів навантаження. Окрему увагу було приділено функції зрізання піків. Даний алгоритм довів свою ефективність при компенсації короткочасних пускових струмів потужного обладнання. Нестача лімітованої мережевої потужності миттєво перекривалася енергією акумуляторів, що повністю нівелювало ризик спрацьовування ввідної захисної автоматики об'єкта. Крім того, в умовах раптових знеструмлень установка автоматично активувала сценарій резервного живлення. Зафіксований час перемикання інвертора на живлення від акумуляторних батарей не перевищував 20 мілісекунд, забезпечуючи абсолютно непомітний для чутливої електроніки перехід та гарантуючи безперервність роботи підключених приладів.

Таблиця 1. Споживання з мережі та понесені витрати

Місяць	Споживання, кВт год	Сума, грн	Споживання, кВт год	Сума, грн	Виробництво ГСЕС, кВт год
	2024/2025		2025/2026		
червень	436	1421	10	37	523
липень	444	1496	5	19	585
серпень	468	1531	15	54	477
вересень	513	1648	10	37	465
жовтень	863	2588	312	797	286
листопад	982	2870	381	911	185
грудень	1113	3311	586	1440	90
січень	964	2840	699	2036	33
лютий	1024	3112	421	1477	170
березень	925	2696	24	95	800
Разом	**7732**	**23513**	**2463**	**6903**	**3614**

Висновки. Досвід натурного використання гібридної фотоелектричної системи підтверджує її високу надійність та експлуатаційну гнучкість. Застосування розглянутих алгоритмів управління потоками потужності перетворює ГСЕС на багатокомпонентний інструмент оптимізації енергобалансу. Комплексний підхід до генерації та зберігання електроенергії дозволяє не лише мінімізувати поточні фінансові витрати, але й забезпечити абсолютну енергетичну стійкість в умовах зовнішніх кризових ситуацій.

Транскритичний тепловий насос на холодоагенті R290

Олександр Глущенко, Олександр Рябчук
Національний університет харчових технологій

Вступ. Сучасні одно та двоступеневі субкритичні теплові насоси на R290, які використовують середньотемпературні (+15..+40 ^{O}C) джерела тепла розраховані на максимальну температуру подачі теплоносія до 75 ^{O}C. Запропоновано транскритичний тепловий насоса на холодоагенті пропан (R290) для отримання температур теплоносія у диапазоні 90..130 ^{O}C. Запропоноване рішення дозволяє працювати з джерелами середньотемпературного тепла, використовуючи стандартні компоненти для холодильних машин. Максимальні робочі тиски у системі на стороні нагнітання обмежені значеннями 55-60 бар. Розрахунковий коефіцієнт перетворення (COP) при температурному графіку джерела тепла +35/+30C та температурному графіку теплоносія +60/+130 ^{O}C – 3,1. При температурному графіку теплоносія +30/+130 ^{O}C коефіцієнт перетворення досягає 3,4.

Матеріали та методи. Виконано аналіз існуючих схем транскритичних холодильних установок. Проведено порівняння з класичними одно та двоступеневими субкритичними, каскадними та автокаскадними циклами.

Результати та обговорення. Розроблено гідравлічну схему та підібрано головні компоненти системи, використовуючи лише комерційні продукти, які поширені на ринку. Розроблено випробувальний стенд, алгоритм керування електронними розширювальними вентилями, алгоритм контролю температури нагнітання компресора, алгоритм регулювання перегріву та підтримання оптимального тиску у газкулері.

Висновки. Тепловий насос можна впроваджувати для модернізації систем опалення та кондиціонування повітря, заміни існуючих бойлерів, впровадження у промислових повітряних сушарках. Використання природніх холодоагентів зменшує негативний вплив на навколишнє середовище. Використання транскритичного циклу та холодоагента з високою критичною температурою дозволяє використовувати середньо та високопотенційни джерела тепла.

Аналіз впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на поглинання сонячних променів будівлею

Володимир Мартенюк[1], Олександр Недбайло[2]
1 – Національного університету харчових технологій, Київ, Україна
2 – Інституту технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна

Вступ. Параметри, що відіграють вирішальну роль у кількості випромінювання, яке приймає поверхня, є її нахил та орієнтація. Орієнтацію було проаналізовано в окремих роботах, тоді як щодо нахилу, тобто кут β, який поверхня утворює з горизонтальною площиною, загальний.

Матеріали та методи. Правило, яке застосовується до максимальної річної енергії, полягає в тому, що нахил має дорівнювати широті місцевості, для максимальної енергії в літні місяці. Емпіричне правило визначає кут нахилу, зменшений приблизно на 15° відносно географічної широти, тоді як взимку він збільшується на 15° відносно географічної широти. У випадку будівельних робіт, звичайно, поверхні переважно вертикальні та горизонтальні, а також деякі похилі у випадках будівель з дахами, які зроблені під кутом. Тільки у випадках будівель, побудованих відповідно до принципів біокліматичної архітектури, де є дослідження кута нахилу стель або деяких елементів будівлі для найефективнішої експлуатації сонячної енергії.

Результати та обговорення. Випромінювання в замкнутому просторі та поглинання її склом, після того, як випромінювання потрапляє на поверхню, таку як скло, частина випромінювання поглинається поверхнею у відсотковому співвідношенні, яке залежить від особливих характеристик матеріалу (головна характеристика його прозорість). Поглинання випромінювання підпорядковується закону Бугера. Слід зазначити, що поглинальна та відбивна здатності випромінювання, що генерується на поверхні, незалежно від того, це чи скління або для простої стіни будівлі залежить від кількох факторів, окрім матеріалу. Колір поверхні має вирішальне значення, оскільки відомо, що темні кольори допомагають у поглинанні більшої кількості випромінювання, тоді як світлі кольори досягти вищих показників відбиття. Навіть тимчасові фактори наприклад, наскільки чиста є поверхня в певний момент (наприклад, наявність пилу на вікні) певною мірою впливають і на решту, як уже згадувалося та були проаналізовані, нахил і орієнтація поверхні. Поглинання простору приміщення додаткову надає значний вплив, коли випромінювання потрапляє в замкнутий простір, такий як кімната, його поверхні яких закриті вікнами, то частина її випромінювання поглинається цим простором (саме там розташовані пасивні системи опалення з прямим поглинанням). Зона радіаційного впливу в замкнутому просторі надає велике значення для теплового комфорту закритого простору мають райони, що перебувають під впливом радіації. Крім того, як було уточнено, положення людини в просторі має вирішальне значення і вплив радіації.

Висновки. Отже експериментально визначено, що чинники зовнішніх та внутрішніх факторів відіграють значну роль отримання інтенсивності інсоляції яку приймає будівлі. Таким чином, зона опромінення повинна визначати сонячне випромінювання, що потрапляє під кутом на будівлі, враховувати фактор якого відтінку будівля а також поглинання випромінювання через скло чи непрозорі огороджувальні конструкції.

18.2.

Power supply and energy management

18.2.

Електропостачання і енергоменеджмент

Використання нечіткої логіки при формуванні вагових коефіцієнтів використання зарядних станцій для координації зарядки електромобілів

Сергій Балюта, Людмила Копилова, Максим Жуков, Денис Жуков
Максим Кондрашевський, Петро Зінькевич, Дмитро Сінюков
Національний університет харчових технологій

Вступ. Внаслідок зростання кількості електромобілів в країні виникає необхідність розвитку зарядної інфраструктури електромобілів. Забезпечення ефективності функціонування зарядної інфраструктури електромобілів може досягатися шляхом створення інтелектуальних систем керування зарядними станціями.

Результати. Запропонований алгоритм координації зарядки ЕМ на зарядній станції на основі вагових коефіцієнтів отриманих з використанням нечіткої логіки, що забезпечує максимізацію використання зарядних станцій ЗС електромобілів. Програмований контролер розраховує значення вагового коефіцієнта для кожного ЕМ на основі вхідної інформації, такої як ступінь заряджання (SoC) АБ ЕМ та час перебування електромобілів на зарядній станції. Потім у кожен період часу відповідно до значення вагового коефіцієнта планується скоординований розподіл ЕМ між ЗС. Електромобілі, які потребують коротшого часу зарядки і мають коротший період паркування отримують вищий коефіцієнт ваг, і обслуговуються раніше за електромобілі з довшим періодом паркування і довшим часом зарядки. Таким чином, запропонований алгоритм покращує використання ЗС шляхом обслуговування максимальну кількість електромобілів протягом годин паркування. Функції належності для вхідних даних: стан зарядки ЕМ (SoC), час перебування на паркуванні з 10 лінгвістичними змінними, а також для вихідних даних: (коефіцієнт ваги) з 3 лінгвістичними змінними використовуються для формування нечіткого виводу на основі 25 правил нечіткої логіки. Запропонований алгоритм був використаний в MATLAB/Simulink для моделювання зарядки 100 електромобілів від 5 швидких ЗС, що мають швидкість заряджання 50 кВт·год. Результати показали, що запропонований алгоритм забезпечує покращення середнього коефіцієнта використання ЗС приблизно на 30% порівняно з алгоритмом, хто перший прийшов – перший зарядився. Запропонований алгоритм може бути удосконалений шляхом включення вхідних даних з інтелектуальної мережі для оптимізації споживання енергії.

Висновок Запропонований алгоритм визначення вагового коефіцієнта з використанням нечіткої логіки в системі керування пулом зарядних станцій електромобілів, що надає можливість забезпечити покращення середнього коефіцієнта використання ЗС і гарантувати пріоритетну зарядку ЕМ.

Нечітке логічне керування системою накопичення енергії в мікромережі

Сергій Балюта, Людмила Копилова, Максим Жуков, Денис Жуков, Максим Кондрашевський, Петро Зінькевич, Дмитро Сінюков
Національний університет харчових технологій

Вступ. Широке використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) призвело до їх ширшого проникнення в існуючі енергетичні системи.

Враховуючи, що більшість ВДЕ генерує електричну енергію, яка має стохастичний характер, це створює серйозні проблеми для операторів електричної мережі при забезпеченні балансу потужності. Для зменшення цих періодичних змін потужності можна підключити систему накопичення енергії (СНЕ). У випадку, коли до мережі підключено кілька джерел ВДЕ, змінні електричні навантаження споживачів та СНЕ, складність мережі, як об'єкта керування, значно зростає. Такі задачі керування мають численні обмеження та цілі, тому розробити ефективну стратегію керування на основі правил складно.

Результати. Запропонована система нечіткого висновку (СНВ) забезпечує і зменшити коливання потужності в мережі та збільшити життєвий цикл СНЕ, шляхом формування сигналів керування. вирішуючи, коли і як потрібно заряджати/розряджати СНВ.

В якості вхідні/вихідні функцій належності (ФН) використовуються відповідно значення балансу потужності ($P_{баланс}$), ступені зарядки АБ СНЕ ($SOC_{СНЕ}$) та вихідні потужність (заряду або розряду СНЕ $P_{СНЕ}$), які описуються п'ятьма рівномірно розподіленими трикутними ФН**.** Розроблено 25 правил нечіткого виводу.

Тестування та перевірка запропонованої СНВ були проведено з використанням реальних даних шляхом імітаційного моделюванні в середовищі Matlab/Simulink при використанні для керування СНЕ нечіткого логічного висновку (НЛВ) та керуванні СНЕ за розкладом (КРС).

Результати моделювання показали, що варіації профілю потужності зменшуються при використанні НЛВ та КРС. Однак, при використанні НЛВ максимальна та мінімальна потужність мережі зменшуються, тоді як при використанні КРС зменшується лише мінімальна потужність.

Порівняння умов роботи мікромережі з СНЕ та без нього показало, що використання нечіткого керування може забезпечити кращу якість електроенергії та одночасне збільшення життєвого циклу СНЕ.

Висновок Використання метод нечіткої логіки для керування СНЕ дозволяє врахувати кількох цілей та обмежень при проведенні керування, а з використанням прогнозних значень потужності, як одного із вхідних даних для НЛВ, забезпечить ефективне використання СНЕ та економічність роботи електричної мережі.

Алгоритм керування на основі нечіткої логіки потужністю станцій зарядки паркування електромобілів

Сергій Балюта, Людмила Копилова, Максим Жуков, Денис Жуков,
Максим Кондрашевський, Петро Зінькевич, Дмитро Сінюков
Національний університет харчових технологій

Вступ. Очікується, що інтелектуальна електрична мережа підтримуватиме живлення паркувальних майданчиків для електромобілів з групою зарядних станцій з використанням існуючої інфраструктури ліній електропередачі. Для уникнення перевантаження мережі і створення умов для забезпечення потреб усіх користувачів електромобілів (ЕМ) в зарядці перед виїздом з парковки, необхідно щоб споживана потужність зарядки електромобілів знаходилася в межах допустимої потужності електричної мережі.

Результати. ропонується алгоритм на основі нечіткого логічного висновку (НЛВ) для ефективного управління доступною від мережі потужністю для зарядки електромобілів на парковці. Ключова ідея полягає у впровадженні механізму нечіткого логічного висновку, який оцінював кілька невизначених вхідних параметрів, описаних з використанням трикутних та трапецієдальних функцій належності (ФН) таких як доступна потужність від інтелектуальної електричної мережі, час прибуття ЕМ, час відправлення ЕМ, стан заряду (SoC) АБ ЕМ та необхідний час перебування електромобілів. Запропонований алгоритм НЛВ використовує значення рішень для регулювання споживання енергії від мережі та підвищення задоволення електромобілів зарядкою. Одиниця вимірювання та діапазон кожної вхідної змінної визначаються для представлення її через ступінь функції належності з використанням п'яти лінгвістичних змінних в кожній. Першим вхідним параметром є тривалість паркування, яка вимірюється в часових інтервалах та в діапазоні [0~48]. Другим вхідним параметром є стан зарядки АБ ЕМ (SoC), який вимірюється у відсотках та в діапазоні [0~1]. Третім вхідним параметром є доступна потужність мережі, яка вимірюється в кіловатах (кВт) та в діапазоні [0~200]. Вихідна змінну визначена як рішення, що містить значення типу float у діапазоні [0~1] і описується за допомогою трьох функцій належності. Для формування вихідного параметра розроблено 125 правил виведення.

Моделювання в середовищі Matlab/ Simulink підтвердило доцільність та ефективність запропонованого алгоритму керування з доступною потужністю та задоволенні вимог користувача електромобіля.

Висновок Використання метод нечіткої логіки для керування потужністю ЗС ЕМ на парковці дозволяє забезпечити обмеження потужності від електричної мережі та задовільнити потреби власників ЕМ у зарядці.

Адаптивна диспетчеризація систем накопичення електричної енергії з урахуванням деградації акумуляторів

Довгич Олександр
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Системи накопичення електричної енергії є важливим елементом гібридних енергетичних систем, що забезпечують підвищення енергоефективності та надійності електропостачання. Існуючі алгоритми керування зазвичай базуються на фіксованих межах роботи акумуляторів і не враховують вплив глибини розряду на їх деградацію, що призводить до неефективного використання ресурсу. Метою роботи є розроблення адаптивного методу диспетчеризації, який забезпечує підвищення ефективності використання енергії та зменшення зносу акумуляторної системи.

Матеріали і методи. Дослідження виконано для гібридної СЕС, що включає фотоелектричну генерацію потужністю 140 кВт, інверторну систему з двох інверторів потужністю 120 кВт та систему накопичення електричної енергії ємністю 344 кВт·год на базі LiFePO4 акумуляторів. Запропонований адаптивний метод диспетчеризації передбачає зміну глибини розряду залежно від рівня навантаження, режиму роботи електричної мережі та умов обмеження приєднаної потужності. Керування реалізовано на базі SCADA-системи власної логіки, яка виконує функції верхнього рівня EMS та забезпечує незалежність алгоритмів від вбудованих систем керування виробників обладнання. Обмін даними між компонентами системи здійснюється за допомогою стандартного протоколу Pylontech-HV, при цьому інвертор та акумуляторна система працюють відповідно до алгоритмів, реалізованих на рівні SCADA. Система забезпечує автоматичне перемикання режимів роботи, періодичне опитування параметрів із частотою 1–5 с та формування керуючих впливів у реальному часі. Для моніторингу реалізовано веб-інтерфейс, що забезпечує відображення параметрів системи, побудову графіків роботи та аналіз циклічності зарядно-розрядних процесів.

Результати та обговорення. Виділено три режими роботи: нормальний (~50%, 172 кВт·год), підвищений (~70%, 240.8 кВт·год) та піковий (~80%, 275.2 кВт·год). Адаптивний підхід дозволяє зменшити кількість глибоких циклів на 30–40% та збільшити ресурс акумулятора на 15–25%. Додатково забезпечується понад 100 кВт·год енергії у пікових режимах. Система покриває навантаження до 2.8 год при номінальній потужності та автоматично адаптується до умов роботи.

Висновки. Розроблено та впроваджено адаптивний метод диспетчеризації систем накопичення електричної енергії на базі SCADA/EMS із реалізацією власної логіки керування, незалежної від виробників обладнання. Показано, що динамічне керування глибиною розряду дозволяє зменшити кількість глибоких циклів на 30–40% та збільшити ресурс акумуляторів на 15–25% без втрати ефективності використання енергії. Запропонований підхід забезпечує гнучке керування режимами роботи, підвищує надійність електропостачання та може бути ефективно застосований у гібридних енергетичних системах з відновлюваними джерелами енергії.

Adaptive LSTM-based forecasting of photovoltaic power plant generation under concept drift

Vladyslav Honcharenko[1], Denys Zhukov[1], Petro Zinkevych[1], Serhiy Baluta[1]
1. *National university of food technologies, Kyiv, Ukraine*
Iuliia Kuievda[2]
2. *National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine*

Introduction. This study proposes a day-ahead forecasting method for photovoltaic power plant (PV) generation using LSTM neural networks that accounts for concept drift and enables the model to adapt to changes.

Results. The intensive integration of artificial intelligence and neural networks into various fields, particularly the energy sector, opens new opportunities for improving the efficiency of energy production and management. Solar energy is one of the leading renewable energy sources used to generate electricity through photovoltaic power plants (PV). Forecasting PV generation remains a challenging task due to the high variability of weather conditions, seasonal fluctuations, and gradual changes in system characteristics, which lead to the phenomenon of concept drift (CD).

In the current literature, several types of concept drift are distinguished: abrupt, gradual, incremental, and recurring/seasonal. The relevance of this study is associated with the need to improve the accuracy of short-term forecasting of PV power generation under changing weather conditions and varying quality of measurement data [1].

To address this problem, historical hourly generation data and meteorological parameters were used. The data were preprocessed, normalized, and transformed into training samples using a sliding window approach. Four model training strategies were investigated [1]:

- static (without further updates after the initial training period);
- historical (trained using all available data up to the forecasting day);
- daily fine-tuning (updating the model each day, starting from the static model);
- fine-tuning with memory (incorporating samples from previous days in order to prevent catastrophic forgetting).

The experiment was conducted using data from a PV power plant with an installed capacity of 20 MW. The results showed that adaptive models with regular parameter updates provide higher forecasting accuracy. The lowest error was achieved by the fine-tuning-with-memory model (RMSE = 0.2643), while the static model demonstrated RMSE = 0.7184.

Conclusion. The proposed methodological approach enables the evaluation of the impact of different training and adaptation strategies of LSTM models on forecasting accuracy under conditions of concept drift, which is typical for short-term day-ahead power forecasting tasks. The study shows that adaptive models capable of dynamically updating their parameters are the most effective for solving such problems. The obtained results have potential practical applications in improving forecasting systems in the field of renewable energy, where accounting for changing conditions in real time is critically important

Порівняння технологій накопичення енергії для відновлювальних джерел

Андрій Герасименко, Віталій Філоненко, Олександр Серьогін
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

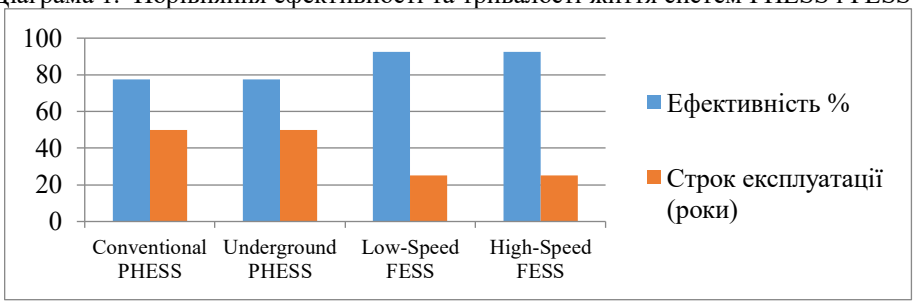
Вступ. Використання відновлюваних джерел енергії потребує надійних систем накопичення електроенергії для підтримки стабільної роботи мережі та покриття пікових навантажень. Метою цієї роботи є огляд і порівняння основних технологій накопичення енергії та визначення найбільш доцільного способу їх використання.

Матеріали та методи. Для порівняння були взяті основні види систем накопичення енергії: PHESS, FESS, BESS, CAES та TESS. Їх оцінювали за ефективністю, тривалістю роботи та енергетичною щільністю. Інформацію було узагальнено на основі наукових джерел і проаналізовано шляхом порівняння, що дало змогу визначити переваги та недоліки кожної технології.

Результати та обговорення. Проведений аналіз показав, що традиційні та підземні системи PHESS мають ефективність на рівні 70 – 85 % і тривалий строк експлуатації – 40 – 60 років, що робить їх придатними для довготривалого накопичення енергії у великих енергосистемах. Натомість системи Low-Speed та High-Speed FESS характеризуються вищою ефективністю (90 – 95 %), але меншим строком служби – 20 – 30 років, тому використовуються переважно для короткочасного зберігання енергії та швидкого реагування на зміни навантаження (див. діаграму 1).

Отримані результати свідчать про те, що вибір технології накопичення енергії значною мірою залежить від поставлених завдань та умов використання. Наприклад, системи PHESS більше підходять для масштабних енергетичних систем, де важливий тривалий термін роботи та можливість накопичення великих обсягів енергії. У свою чергу системи FESS доцільно застосовувати там, де необхідна швидка реакція системи та короткострокове акумулювання енергії.

Діаграма 1. Порівняння ефективності та тривалості життя систем PHESS і FESS



Висновки. У результаті проведеного аналізу було встановлено, що різні технології накопичення енергії мають свої переваги та обмеження, які необхідно враховувати під час їх використання разом із відновлюваними джерелами енергії. Отримані результати можуть бути корисними при виборі технологій накопичення енергії для стабілізації роботи енергетичних систем..

Аналіз математичної моделі несинусоїдної напруги

Олексій Якимов, Володимир Шестеренко, Олег Мащенко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Основними формами впливу вищих гармонік на системи електропостачання є: а) збільшення струмів і напруг гармонік внаслідок паралельного і послідовного резонансів; б) зниження ефективності процесів генерації, передачі і використання електроенергії; в) старіння ізоляції електрообладнання та скорочення внаслідок цього терміну його служби; г) помилкова робота устаткування.Це – найбільш важлива частина проблеми електромагнітної сумісності електрообладнання в зв'язку із збільшенням потужності електроприймачів, що спотворюють синусоїду, та широкого поширення електричних систем автоматичного керування технологічними процесами, які чутливі до форми синусоїди напруги.

Матеріали та методи. Використовувались положення теорії автоматичного регулювання, фізичне та математичне моделювання процесів, методи багатокритеріального прийняття рішень.

Результати та обговорення. Енергетики все частіше стикаються з проблемою виходу з ладу, без видимої причини, електричного та електронного устаткування. Відбувається перегрівання роторів і швидкий знос підшипників електродвигунів і генераторів, аварії електроприводів, вибухи конденсаторів, регулярний вихід з ладу мікропроцесорної техніки, підгоряння нульових проводів, прискорене старіння ізоляції і корозія елементів заземлень. Причина цього – несинусоїдність напруги. Це – найбільш важлива частина проблеми електромагнітної сумісності електрообладнання в зв'язку із збільшенням потужності електроприймачів, що спотворюють синусоїду, та широкого поширення електричних систем автоматичного керування технологічними процесами, які чутливі до форми синусоїди напруги. Відхилення форми кривої струму та напруги від синусоїди розглядають з допомогою гармонічних складових за математичною теорією, створеною Фур'є. Несинусоїдні напруги та струми це функція , яка задовольняє умовам Дирихле. В зв'язку з цим для технічних розрахунків зручно подати несинусоїдну криву у вигляді суми сталої величини та нескінченого ряду синусоїдних величин, гармонік. Необхідно знати, що фізично вищі гармоніки не існують. Це **математична модель** несинусоїдної напруги!

Несинусоїдність напруги характеризується значенням коефіцієнта спотворення синусоїдності кривої напруги .

$$K_{нес} = 100\frac{\sqrt{\sum_{\nu=2}^{N} U_\nu^2}}{U_{ном}},$$

де N-порядок останньої із гармонічних складових напруги, що враховуються; ν - порядок гармонічної складової напруги; U_ν - діюче значення ν - ї гармонічної складової напруги. При визначенні даного показника дозволяється не враховувати гармонічні складові порядку $\nu > 40$ та такі, значення яких менше 0,1%.

Допустимі значення коефіцієнта несинусоїдності , %: напругою до 1 кВ – 8%, 6…35 кВ - 5 %:

Висновки. Вихід для енергетиків - перехід до концепції інтелектуальних електричних мереж *Smart Grid*.

Сучасний вплив відновлюваних джерел енергії на формування балансів електричної енергії системи.

Владислав Левчук, Олександр Серьогін, Ігор Ізволенський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Сьогодні відновлювані джерела енергії та сонячна енергетика стає актуальною як ніколи. Глобальні проблеми з енергоносіями, залежність нашої держави від імпортних вуглеводнів, все це змушує нас шукати нові джерела енергії, а державу - вкладати гроші у сонячні електростанції та зелений тариф.

В даний час у суспільній свідомості міцніє переконаність у тому, що енергетика майбутнього повинна базуватися на великомасштабному використанні сонячної енергії, причому в самих різних її проявах.

Сонце - це величезний, невичерпний, абсолютно безпечне джерело енергії, в рівній мірі всім належить і всім доступний. Ставка на сонячну енергетику повинна розглядатися не тільки як безпрограшний, але в довготривалій перспективі і як безальтернативний вибір для людства. В нашій науковій роботі ми розглянемо в ретроспективному і перспективному плані можливості перетворення сонячної енергії в електричну за допомогою напівпровідникових фотоелементів. Ці пристрої представляються сьогодні цілком дозрілими в науковому та технологічному відношенні для того, щоб розглядатися в якості технічної бази для великомасштабної сонячної електроенергетики майбутнього.

Метою нашої роботи є визначення умов розвитку функціонування сонячної енергетики в Україні. З кожним роком в багатьох країнах світу все гостріше постає проблема забезпечення різними видами енергії. Основними причинами такого становища є нестача та вичерпність традиційних енергоносіїв (вугілля, нафти та природного газу). Вирішити енергетичну проблему можна або раціонально використовуючи наявні природні енергоносії, тобто проводити енерго- та ресурсозберігаючу політику, або застосовувати нові нетрадиційні та відновлювані джерела енергії.

У таких умовах особливого значення набуває використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (енергії сонця, біомаси, тепла землі, вітру та інших видів).

У світі активізується процес перетворення сонячної енергії в електроенергію. Тут використовуються два методи - термодинамічний та фотоелектричний, причому останній лідирує з великим відривом. Так, сумарна світова потужність автономних фотоелектричних установок досягла 500 МВт. Тут слід згадати проект «Тисяча дахів», реалізований в Німеччині, де 2250 будинків були обладнані фотоелектричними установками. При цьому роль резервного джерела грає електромережа, з якої відшкодовується нестача енергії. У випадку ж надлишку енергії вона, у свою чергу, передається в мережу. Відомо,що при реалізації цього проекту до 70% вартості установок оплачувалося з федерального і земельного бюджетів. У США прийнята ще більш масштабна програма «Мільйон сонячних дахів», розрахована до 2030 р.

Таким чином, сучасний вплив відновлюваних джерел енергії на формування балансів електричної енергії системи та використання системи накопичення енергії відновлюваних джерел на формування балансів електричної енергії в комунальному господарстві енергосистеми, що значно вдосконалить ефективність комунального міського господарства і прискорить рух нашої держави до Євросоюзу.

Використання системи накопичення енергії відновлюваних джерел для комунального господарства

В.О. Пененко, Олександр Серьогін, Ігор Ізволенський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Енергетика є основою національної економіки, системотворчою, базовою галуззю, провідним чинником її розвитку. Ефективне функціонування паливно-енергетичного комплексу є дуже вагомим для підвищення добробуту та забезпечення сталого економічного розвитку держави. Наразі світова енергетика характеризується високим рівнем ефективності, диверсифікацією виробничої структури та більш ефективним розташуванням енергетичних об’єктів. Зниження темпів росту енергоспоживання в промислово розвинених країнах пов’язане з ростом інвестиційних вкладень в енергозберігаючі технології, а не у виробництво самої енергії.

Раціональне використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії в комунальному господарстві : вітру, сонячного випромінення, геотермальної енергії та біомаси, що включає відходи комунального господарства, стічні води життедіяльності місцевих громад сільськогосподарські відходи є одним з істотних компонентів сталого розвитку сучасного суспільства, шо приносить значимі екологічно-енергетичні ефекти. Зростання участі нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії в паливно-енергетичному балансі комунального господарства сприяє поліпшенню ефективності використання і економії запасів енергетичної сировини міста та міських громад, поліпшенню стану екології навколишнього середовища, через зменшення забруднень до атмосфери і води, а також зменшення кількості відходів місцевого виробництва і життєдіяльності населення. У зв'язку з цим підтримка розвитку альтернативної енергетики, утилізації відходів життєдіяльності в міських громадах стає з кожним днем все більш актуальним завданням для майже всіх країн світу.

Актуальність досліджень полягає в тому, що для забезпечення міста тепловою і електричною енергією замість традиційної яка зараз використовується, треба замінювати альтернативною і відновлюваною енергією з дотриманням європейських екологічних вимог що суттєво скорочує викиди забруднюючих речовин та парникових газів які створюються від традиційних енергоблоків міста. Дуже важним та актуальним є використання системи накопичення енергії відновлюваних джерел на формування балансів електричної енергії в комунальному господарстві енергосистеми. Очікуване подорожчення газу та електроенергії для всіх категорій споживачів. Реалізація відкладених проектів. Розвиток ринку відновлюваної енергетики.

Використання сонячних колекторів, батарей фотовольтаїки, теплових насосів, та інших технологій альтернативних джерел енергії в місті та його комунальному господарстві особливо важним та актуальним є використання системи накопичення енергії відновлюваних джерел на формування балансів електричної енергії в комунальному господарстві енергосистеми, що значно вдосконалить ефективність комунального міського господарства і прискорить рух нашої держави до Евросоюзу.

Резервування електричної потужності енергосистеми з відновлюваними джерелами енергії в сучасних умовах

В.С. Петренко, Олександр Серьогін, Ігор Ізволенський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Актуальність теми резервування електричної потужності енергосистеми з відновлюваними джерелами енергії в сучасних умовах ы проблема комбінованого використання відновлюваних джерел енергії разом з акумуляторними батареями та резервним джерелом живлення стала відчутною протягом останніх двох років саме на території України. Немає одного чітко визначеного принципу підбору такого роду електричної станції, що дає поле для великої кількості різноманітних технічних рішень, які базуються на різному підґрунті.

Метою даної наукової роботи є встановлення параметрів комплексної електростанції для забезпечення власних потреб споживача на основі відновлюваних джерел енергії.

Об'єктом дослідження є перетворення енергії відновлюваних джерел в комплексній системі з блоком накопичення та резервним джерелом енергії.

Предмет дослідження є режимні параметри комплексної системи з блоком накопичувачем та резервним джерелом енергії.

Нами запропоновані методи дослідження та створені програми розрахунку балансу потужностей в програмному забезпеченні MATLAB та робота з отриманим балансом з урахуванням вартості ключових елементів системи, що розраховується.

Наукова новизна роботи заключається в удосконалені методу енергетичного узгодження обладнання та устаткування для реалізації комбінованих систем за рахунок врахування специфіки покриття навантаження різними відновлюваними джерелами.

Важливим є практичне значення роботи**,** що дало можливість отримати програмний продукт дослідження енергетичного балансу системи на основі графіків покриття споживання та генерації даної системи та надання чіткого співвідношення різних джерел енергії в одній системі з урахуванням їх технічних та економічних особливостей.

Суть досліджень полягає в тому, що для забезпечення міста тепловою і електричною енергією замість традиційної яка зараз використовується, треба замінювати альтернативною і відновлюваною енергією з дотриманням європейських екологічних вимог що суттєво скорочує викиди забруднюючих речовин та парникових газів які створюються від традиційних енергоблоків міста.

Використання сонячних колекторів, батарей фотовольтаїки, теплових насосів, переробки твердих побутових відходів біологічного та штучно створених комбінацій з вуглецевоводневих сумішей та інших технологій альтернативних джерел енергії в місті значно вдосконалить ефективність комунального міського господарства і прискорить рух нашої держави до Евросоюзу.

Аналіз впливу відновлюваних джерел енергії електричним забезпеченням комунальних споруд

Пінчук Андрій , Олександр Серьогін, Ігор Ізволенський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. В нашій науковій роботі розроблено систему комплексного забезпечення житлового будинку тепловою та електричною енергією на основі застосування установки на базі сучасних тенденцій відновлюваних джерел та дахової сонячної електричної станції. Зроблені обчислення теплових втрат житлового будинку та витрат теплової енергії на постачання гарячої води. Проведено обчислення параметрів розробленої нами установки, а ще основного та допоміжного обладнання дахової сонячної електричної станції для зменшення навантаження та покращення енергетичних характеристик комунального господарства.

Підвищення якості систем опалення будівель із допомогою енергії від Сонця вимагає застосування ефективних апаратів для перетворення енергії сонячної радіації із архітектурою, тепловими та електротехнічними розв'язками, що мають на меті зменшення втрат кількості тепла та економію енергії. Головна проблема у використанні енергії від Сонця для подачі тепла та електричної енергії в Україні – це велика ціна установок.

У нашій науковій роботі продумані технічні рішення, які забезпечать заощадження енергії на подачу тепла для житлових приміщень та підвищать ефективність роботи комунального господарства. Так, як на теперішній час актуальною являється ідея переходу на відновлювані джерела енергії (ВДЕ) та екологічне паливо. Саме ці види джерел енергії нададуть можливість вирішити проблему та створити фінансові умови для подачі теплової енергії.

Під час застосування комплексних конструкційних і технічних рішень можна надати більше свободи для подачі електричної енергії і зробити меншим негативний вплив на природу завдяки введенню екологічних технологій.

Отже, проаналізувавши дані про проведені нами дослідження, більша частина яких відображає яскраво показаний рекламний характер, тому зробити незалежне уявлення та відокремити переваги одного перед іншим доволі важко.

Не завжди проведені дослідження означають процеси, які відбуваються у випадку використання відновлюваного палива. Іноді для привертання уваги покупців, розробники вказують хибну назву для своєї продукції. Тому, треба бути уважним під час обрання практичного напрямку.

Різні форми досліджень та використання результатів , їх наповнення та великий вибір типорозмірів конкретних рішень, існування додаткового допоміжного обладнання надає змогу обрати потрібний агрегат для забезпечення теплом приватного житлового будинку та підвищення ефективності роботи комунального господарства.

Розробка програмного модуля для проєктування систем електропостачання хлібозаводів

Тимур Малецький, Юрій Чорний
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Попри наявність значної кількості програмних продуктів для проєктування систем електропостачання, існує проблема введення потужності електроспоживачів технологічного обладнання хлібозаводів при проєктуванні.

Матеріали та методи.

У розробці використано AutoCAD або AutoCAD Electrical. Основним інструментом програмування слугує Visual LISP, який забезпечує доступ до об'єктів AutoCAD та підтримує роботу зі структурами даних, файлами, логічними й арифметичними операціями.

Технологічне обладнання хлібозаводів комплектується необхідним електротехнічним обладнанням. Відповідні дані розпорошені в численних довідниках і посібниках, що ускладнює роботу проєктувальника.

Результати. При розробці програмного модуля створено базу даних технологічного обладнання хлібозаводів з зазначенням комплектного електротехнічного обладнання. Під час проєктування систем електропостачання проєктувальнику надається можливість вибрати необхідне обладнання (рис. 1) і розташувати це обладнання на робочому будівельному кресленні цеху (рис. 2).

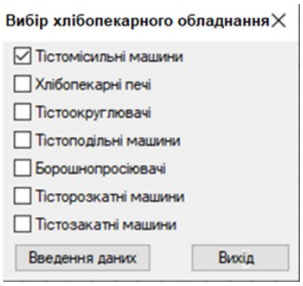


Рис. 1 Вікно вибору хлібопекарного обладнання

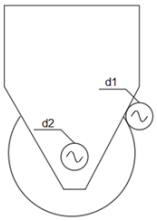


Рис. 2. Прив'язка обладнання на кресленні в AutoCAD Elecrical

В подальшому електроспоживачі технологічного обладнання приєднуються до схеми електропостачання хлібозаводу.

При необхідності коригування електричного обладнання проєктувальнику надається можливість ввести зміни.

Висновки. Використання програмного модуля дозволить значно спростити проєктування систем електропостачання хлібозаводів, зменшить можливість помилок під час проєктування.

Література.

САПР. Програмування на функціональній мові AutoLISP при проектуванні технологічного обладнання /В.Ю.Щербина, О.С.Сахаров, О.В.Гондлях, В.І.Сівецький. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 156с.: іл.

Автоматичне регулювання джерел реактивної потужності в системах електрозабезпечення харчових підприємств

Владислав Шпак, Володимир Шестеренко
Національний університет харчових технологій

Вступ. Харчові підприємства (переважно II категорії надійності) мають компактну структуру та живляться від мереж 10-35кВ. Основними засобами компенсації реактивної потужності є конденсатори та синхронні двигуни, режим роботи яких повинен на 80-90% відповідати графіку споживання реактивної потужності.

Матеріали та методи. Потужність батареї змінюється дискретно на значення потужності однієї секції. Основний принцип плавного регулювання полягає у зміні кута провідності або часу відкритого стану тиристора. При зменшенні цього кута знижується ефективне значення першої гармоніки струму через конденсатор та потужність, яку конденсаторна установка (КУ) віддає у мережу. Комбіноване регулювання ґрунтується на поєднанні цих двох способів — ступінчастого та плавного.

Результати та обговорення. Таке поєднання дозволяє використовувати їхні найкращі якості й діставати нові вищі характеристики регульованого статичного джерела реактивної потужності. В основу принципу покладено поєднання кількох ступенів КУ, керованих тиристорами, зі ступенем, в межах якого реактивна потужність змінюється плавно. Спосіб плавної зміни реактивної потужності може бути різним, або це КУ, що вмикається тиристорним вимикачем і вимикається за допомогою спеціального джерела керованих імпульсів струму, або це постійно ввімкнена КУ, потужність якої дорівнює одиничній потужності ступеня, паралельно якій ввімкнений такої самої потужності керований тиристорами реактор. Таке вмикання дозволяє плавно набирати потужність від нуля до границі, що дорівнює потужності ступеня, а потім за допомогою відповідної системи керування та синхронізації вводити перший ступінь, у той самий час знижуючи до нуля потужність плавно регульованого ступеня. У проміжку між ступенями потужність статичного компенсатора дорівнює потужності нижчих ступенів і потужності плавно регульованого ступеня. Так само здійснюється і зниження потужності.

Треба зазначити, що завдяки такому принципу керування статичне джерело реактивної потужності (ДРП) з комбінованим регулюванням має таку саму швидкодію, як і плавний і ступінчастий ДРП, але на відміну від ступінчастого ДРП, дозволяє регулювати реактивну потужність плавно, а на відміну від плавно регульованого ДРП не викликає у мережі значних спотворень форми кривої напруги. Серед недоліків такого способу регулювання можна зазначити необхідність застосування старанно настроєної системи керування та синхронізації.

Висновки. Критерієм оптимальності при оперативному керуванні компенсацією є мінімум втрат електроенергії. Комбіноване регулювання дозволяє отримати вищі характеристики ДРП, поєднуючи плавність і швидкодію без значних спотворень напруги. Рекомендовано для впровадження на підприємствах харчової галузі з компактною системою електропостачання.

Аналіз програмного забезпечення для проєктування систем електропостачання

Тимур Малецький, Юрій Чорний
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасні реалії висувають перед інженерами-електриками вимогу оперативно та максимально точно створювати проєкти систем електропостачання. Виконати такі завдання стає все складніше без впровадження сучасних інформаційних технологій та передового програмного забезпечення.

Матеріали та методи. Об'єктом дослідження виступають програмні комплекси HYPERSIM (дослідженнях електромагнітних перехідних процесів у великих масштабах з виконанням у режимі реального часу), симулятор RTDS (спеціалізоване обладнання для досліджень електромагнітних перехідних процесів у реальному часі), PSCAD (дослідження електромагнітних перехідних процесів в офлайн-середовищі), MATLAB Simulink із Simscape Electrical Autocad Electric (проектування на основі моделей для силової електроніки, машин та систем керування), PSS®E (Симулятор енергосистеми для інженерів), ETAP (Інтегрований пакет для досліджень енергопостачання промислових об'єктів), PowerFactory (дослідження передачі та розподілу енергії), PSCAD EMTDC з інтеграцією обладнання в реальному часі.

Результати. У ході роботи проаналізовано основні переваги (таблиця 1), найкращі варіанти використання програмного забезпечення, підходи до моделювання, можливості проєктування в реальному часі стосовно вищезазначеного програмного забезпечення.

Таблиця 1

HYPER SIM	RTDS Simulator	PSCAD	MATLAB Simulink з Simscape Electrical	PSS®E	ETAP	Power Factory	PSCAD EMTDC
Моделювання ЕМП* у реальному часі	Спеціальний режим реального часу ЕМП	Детальний ЕМП офлайн	Модельно-орієнтоване проектування та керування	Планування передачі	Управління промисловим живленням	Планування та операції	ЕМП в режимі реального часу з лабораторним зв'язком

Дослідження акцентує увагу на важливості вибору програмного забезпечення для проєктування систем електропостачання на основі аналізу всіх аспектів забезпечення з врахуванням специфічних вимог та характеристик проєкту.

Висновки. Ретельний підхід до вибору програмного забезпечення має вирішальне значення для оптимального режиму проєктування електротехнічних систем. Оптимальні рішення слід підбирати відповідно до потреб і завдань конкретного проєкту. Необхідно також зазначити, що важлива постійна адаптація програмного забезпечення до змін у динамічній електротехнічній індустрії.

Дослідження симетричних та несиметричних коротких замикань у програмному забезпеченні Siemens PSS SINCAL

Тимофій Богдан, Максим Жуков, Денис Жуков,
Петро Зінькевич, Людмила Копилова, Сергій Балюта
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Метою даної роботи є дослідження функціональних можливостей програмного комплексу Siemens PSS SINCAL , що застосовується у рамках лабораторних робіт з дисципліни «Перехідні процеси в системах електропостачання».

Результати. Програмний комплекс Siemens PSS SINCAL призначений для моделювання, аналізу та планування електроенергетичних систем різних типів, зокрема мереж передачі та розподілу електроенергії, промислових і залізничних електричних мереж, а також систем з використанням відновлюваних джерел енергії. Програмне забезпечення застосовується інженерами з планування електричних мереж, спеціалістами з релейного захисту, консультантами з енергетичних систем, операторами електростанцій та науковцями більш ніж у 90 країнах світу [1].

Одним із функціональних модулів програмного комплексу є модуль розрахунку коротких замикань (КЗ), який використовується для визначення оптимальних параметрів вибору обладнання електричних мереж за максимальними струмами КЗ, а також для налаштування пристроїв захисту за мінімальними значеннями струмів КЗ. Програма підтримує розрахунок різних типів пошкоджень (однофазних, двофазних, двофазних із заземленням і трифазних КЗ) для окремих вузлів або підмереж. Розрахунки виконуються відповідно до міжнародних стандартів КЗ (ANSI C37, IEC 60909, IEC 61363-1, VDE 0102, G74) з урахуванням початкового режиму навантаження. Основні результати розрахунку (I_k, ip, I_a, S_k, U_0, Z_0/Z_1 тощо) зберігаються для подальшого аналізу. При проведенні лабораторних досліджень з дисципліни «Перехідні процеси в системах електропостачання» визначаються струми симетричних та несиметричних КЗ в електричній мережі, що містить генератор G_1, систему Q_1, трансформатори T_1–T_3 та з'єднувальні лінії L_1 і L_2 з урахуванням навантаження та активного опору елементів. Під час виконання роботи вивчається інтерфейс програмного комплексу PSS®SINCAL та особливості налаштування для проведення моделювання..

Висновок. У роботі досліджено режими електричних мереж з використанням програмного комплексу Siemens PSS SINCAL. Виконано моделювання різних видів коротких замикань (одно-, дво- та трифазних) в електричній мережі з урахуванням спрацювання систем автоматики, що дозволило оцінити поведінку системи в аварійних умовах. Отримані результати мають практичну цінність і можуть використовуватись у навчальному процесі для проведення лабораторних робіт.

Література.

1. Моделювання електроенергетичних мереж із застосуванням програмного забезпечення Siemens PSS SINCAL / Максим Жуков, Денис Жуков, Петро Зінькевич, Людмила Копилова, Сергій Балюта // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : матеріали 91-ої Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 7–11 квітня 2025 р. – Київ : НУХТ, 2025. – Ч. 2. – С. 349.

Методологія розрахунку потужності системи фотоелектричними станціями(ФЕС) та вибір її елементів для плоского даху

Ілля Янюк, Володимир Романюк, Владислав Шпак,
Петро Зінькевич, Сергій Балюта
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У цьому дослідженні розглядаються підходи до проектування фотоелектричної станції (ФЕС), що передбачається встановлювати на даху багатоквартирних житлових будинків та промислових підприємств.

Результати. У дослідженні проаналізовано вплив особливості конструкції будівель із плоским дахом (ухил до 15°) та наявних на даху технічних елементів (вентиляція, опалення, шахти тощо) на доступну площу для розміщення ФЕС. Встановлено, що потужність ФЕС залежить від корисної площі даху, яку можна ефективно використати для встановлення ФЕМ, з урахуванням відстаней між модулями, які є необхідними для уникнення затінення. Для врахування вказаних особливостей в методології розрахунку використовуються коефіцієнти GCR, SA, коефіцієнт використання простору, що забезпечує комплексний і точний підхід до розрахунку та проєктування ФЕС:

$$S^{\text{модулів}} = S \cdot (GCR - SA), \text{м}^2 \quad (1)$$

де S - площа плоского даху, м^2; GCR — коефіцієнт покриття землі, %, зона обслуговування (SA), % . Результати коефіцієнтів наведені в табл.1.

Таблиця 1. Коефіцієнти GCR і SA для визначення площі даху

Кут нахилу ФЕМ	Коефіцієнт покриття землі (GCR), %	Зона обслуговування (SA), %	Доступний простір на даху (%)
0	100	20	80
5	80	17	63
10	66	13	53
15	57	10	47
20	51	7	44
25	46	3	43
30	42	0	42

Проектна потужність ФЕС визначається за формулою:

$$P = S_{\text{модулів}} \cdot l \cdot \eta_{\text{модуля}}, \text{кВт} \quad (2)$$

де $S_{\text{модулів}}$— площа даху, яку займає ФЕС, м^2, $l, \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$- питома потужність фотоелементів, $\eta_{\text{модуля}}$— коефіцієнт корисної дії ФЕМ, вибирається з паспортних даних.

Подальший розрахунок включає визначення кількості фотоелектричних панелей, потужності інвертора, кількості модулів у рядку та паралельних рядків, загальної кількості модулів і площі, яку займає ФЕС. Виробіток електроенергії оцінюється шляхом моделювання роботи ФЕС з використанням програмного забезпеченні PVsyst чи System Advisor Model (SAM).

Висновок. Проєктування ФЕС на плоских дахах з урахуванням конструктивних особливостей будівлі, інженерних елементів і затінення з використанням запропонованої методології для заданого простору даху із застосуванням коефіцієнтів GCR, SA дозволяє підвищити точність розрахунку потужності ФЕС

.Застосування біогазових установок на основі відходів тваринництва та рослинництва для енергозабезпечення молочно-товарних ферм

Станіслав Стрелюк
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Тваринництво, зокрема молочне скотарство, є одним із ключових секторів агропромислового комплексу України, що забезпечує значну частку білкової продукції для харчування населення. Молочно-товарні ферми (МТФ) належать до найбільш енергоємних об'єктів сільського господарства: електроенергія та тепло необхідні для доїння, охолодження молока, вентиляції приміщень, опалення взимку, роботи насосів та систем гноєвидалення. У середньому на одну корову припадає 800–1200 кВт·год електроенергії та 3–5 Гкал тепла на рік, а загальні енергетичні витрати можуть сягати 20–35 % собівартості молока. В умовах зростання тарифів, частих відключень електроенергії через воєнні дії та залежності від імпортних енергоносіїв традиційне енергозабезпечення стає критичним фактором ризику для стабільності виробництва та доступності молочної продукції для споживачів.

Біогазові установки пропонують комплексне рішення цієї проблеми, перетворюючи органічні відходи — гній великої рогатої худоби, силос, рослинні рештки — на біогаз, який використовується для виробництва електроенергії та тепла в когенераційному режимі. Одна корова виробляє близько 40–60 кг гною на добу, що еквівалентно потенціалу 1,5–2,5 м³ біогазу (приблизно 3–5 кВт·год електроенергії та 4–7 кВт·год тепла). Для типової МТФ на 200–500 голів ВРХ це означає можливість генерувати 150–500 кВт електричної потужності, що часто повністю покриває власні потреби ферми та дозволяє продавати надлишки в мережу або використовувати для інших суміжних процесів.

Результати. Моделювання біогазового процесу для типових українських молочно-товарних ферм (200–400 голів ВРХ) показало, що при використанні гною та силосу як основної сировини добовий вихід біогазу становить 300–800 м³, що відповідає електричній потужності когенераційної установки 80–250 кВт. Когенераційний режим забезпечує виробництво 65–75 % тепла та 25–35 % електроенергії від загальної енергії біогазу, що дозволяє повністю покривати потреби в електроенергії для доїльного обладнання, охолоджувачів молока та вентиляції, а також забезпечувати 70–90 % теплового навантаження приміщень взимку.

Висновок. Застосування біогазових установок на основі відходів тваринництва є ефективним та комплексним способом підвищення енергетичної автономності молочно-товарних ферм в Україні. Запропоновані методи моделювання та оптимізації дозволяють адаптувати параметри установки під конкретні умови господарства, враховуючи обсяги сировини, сезонність навантажень та економічні показники. Впровадження таких технологій не лише знижує собівартість молока на 10–25 %, а й сприяє сталому розвитку сектору через зменшення залежності від зовнішніх енергоносіїв, покращення екологічної ситуації та створення додаткових ресурсів (добрива). У довгостроковій перспективі це сприяє стабільному забезпеченню населення якісною молочною продукцією, зміцненню продовольчої безпеки та переходу агросектору до циркулярної економіки в умовах енергетичних та кліматичних викликів XXI століття.

Інтеграція сонячних електростанцій та систем накопичення енергії для підвищення енергоефективності тепличних комплексів в умовах України

Станіслав Стрелюк
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасне тепличне господарство є одним із найенергоємніших напрямів агровиробництва. Опалення, вентиляція, штучне досвічування, робота насосів зрошення та систем клімат-контролю споживають значні обсяги електроенергії та тепла, особливо в осінньо-зимовий період. В Україні тепличні комплекси забезпечують значну частку ранніх овочів, зелені та ягід для внутрішнього ринку, проте енергетичні витрати становлять 30–60 % собівартості продукції. В умовах нестабільного централізованого електропостачання, спричиненого воєнними діями, та постійного зростання тарифів на електроенергію традиційні джерела стають дедалі менш надійними та економічно виправданими. Це безпосередньо впливає на продовольчу безпеку країни, адже підвищення собівартості призводить до зростання цін на свіжі овочі та ускладнює доступ до якісного харчування для населення.

Відновлювані джерела енергії, зокрема сонячна енергетика в поєднанні з системами накопичення, пропонують реальний шлях до вирішення цієї проблеми. Сонячні електростанції (СЕС), встановлені на дахах або прилеглих територіях теплиць, дозволяють генерувати електроенергію безпосередньо на місці споживання, мінімізуючи втрати в мережах та знижуючи залежність від зовнішнього постачання. Однак сезонність та добова нерівномірність сонячної генерації створюють суттєві обмеження: максимальне виробництво припадає на весняно-літній період, коли споживання в теплицях відносно низьке, тоді як взимку, коли потрібне інтенсивне опалення та досвічування, генерація падає до 25–35 % від літнього рівня. Саме тут ключову роль відіграють системи накопичення енергії (акумуляторні батареї), які дозволяють зберігати надлишок енергії для використання вночі або в похмурі дні, а також забезпечувати безперебійне живлення критичних систем під час відключень.

Результати. Аналіз реальних даних інсоляції в Україні (Київська, Житомирська, Полтавська області) та профілів споживання типових тепличних комплексів площею 0,5–2 га показав, що оптимальна потужність СЕС для зимового періоду становить 80–150 кВт на гектар теплиці, а ємність акумуляторів — 200–600 кВт·год залежно від рівня автономності. Моделювання гібридних систем (СЕС + літій-іонні акумулятори + гібридний інвертор) продемонструвало зниження енергетичних витрат на 28–52 % порівняно з традиційним підключенням до мережі. У зимовий період (грудень–лютий) частка власної генерації з накопиченням сягає 45–68 %, що дозволяє підтримувати стабільну температуру 18–22 °C та досвічування 12–16 годин на добу без значних перебоїв.

Висновок. Запропоновані методи моделювання та оптимізації дозволяють підібрати параметри гібридної системи під конкретний профіль навантаження з урахуванням сезонності, погодних умов та ризиків відключень. Впровадження таких рішень не лише знижує собівартість овочевої продукції на 20–40 %, а й суттєво підвищує стійкість виробництва до енергетичних криз, сприяючи стабільному забезпеченню населення свіжими овочами та зеленню. У довгостроковій перспективі це сприяє загальному зміцненню продовольчої безпеки України в умовах кліматичних змін, енергетичної нестабільності та глобальних викликів XXI століття.

Dynamic method for testing the stability of a power system under small disturbances

Natalia Yuneeva [1,2,] Anton Kononenko [1]

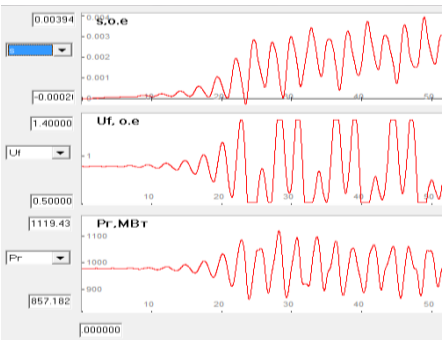
1- National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine ,

2- Institute of Electrodynamics, NAS of Ukraine

Introduction. Violations of the static stability of large electric power systems (EPS) arise due to the appearance and growth of low-frequency power fluctuations. Preventing this is especially relevant in the current conditions of the Ukrainian EPS operation.

Materials and methods . A nonlinear model of the dynamics of the power system, according to which the dynamic stability is checked by calculating the dynamic transition under large disturbances, is also used for small finite disturbances. For modeling the automatic excitation regulator (AER), a mathematical model has been implemented that allows taking into account the strong-action AER, the "high-frequency" AER (rotor current regulation), and the simplest current compounding.

Results . Usually, the stability of the system under small disturbances is analyzed taking into account linearized dynamics equations, checking stability criteria or analyzing the roots of the characteristic equation. Unlike this method, where the type and location of disturbances do not need to be set (their magnitude in the theoretical model goes to zero), when using finite disturbances they must be specified. Calculations of electromechanical transients by numerical integration of nonlinear system dynamics equations under small disturbances allow checking the oscillatory stability of the EPS taking into account all nonlinearities and limitations. A study was conducted of the influence of the AER setting parameters on the oscillatory static stability at the Zakhid-Vinnytsia intersection for a test circuit formed in the winter maximum mode of the Ukrainian UPS. The circuit consists of 54 nodes, 72 branches, 18 generators. Modeling of generators with AER devices was specified for the Rivne unit and two units of the Khmelnytskyi NPP. The disturbance was set to turn off 5% of the load power at the Nivky substation. With the standard parameters of the AER setting, the oscillatory static stability is violated, which reflects the result of calculating the parameters of the transient process (slip, excitation voltage, active power) for the KhNPP generator (Fig. 1). When changing the voltage deviation regulation coefficient from -21 to -10, the stability is preserved (Fig. 2)



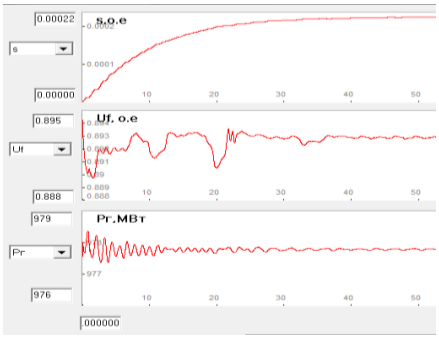


Fig. 1. Results with standard AERFig. 2. Results when changing the settings regulation coefficient of the AER

Study of Dynamic Stability under the Action of Load Shedding Automation

Natalia Yuneieva[1,2], Bohdan Tarasenko[1]

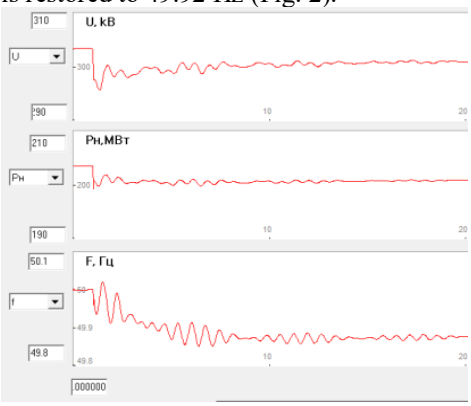
1. National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

2. Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine

Introduction. The aim of this work is to study the stability of an electric power system under large disturbances (short circuits, disconnection of lines or generators), the violation of which poses a threat to the survivability of electric power systems (EPS).

Materials and Methods. A model is implemented that neglects rapidly decaying electromagnetic processes in the EPS. As a result, the dynamic equations take a degenerate form: $\frac{dX_1}{dt} = F_1(X_1, X_2, t)$, $F_2(X_1, X_2) = 0$, where: x is the vector of integrated variables,y is the vector of non-integrated variables. The vector function f characterizes the subsystem of variables determined by numerical integration of differential equations, while g represents a set of algebraic equations describing the quasi-steady-state electrical regime of the EPS at each moment in time t.

Results. As an information model, a developed test model of the West–Vinnytsia cross-section is used, representing a 750 kV and 330 kV electrical network of the South-Western EPS and its connections with neighboring regional power systems.An isolated operating mode of the Unified Power System (UPS) of Ukraine is considered. Stability calculations of the UPS in the West–Vinnytsia section for planning the winter peak load conditions showed the need to apply load shedding automation at the Rivne Nuclear Power Plant (RNPP).In the case of disconnection of the 330 kV transmission line Shepetivka–Zhytomyr, this automation disconnects units 1 and 2 of RNPP.The system frequency in the post-emergency mode after the action of the automation is 49.88 Hz (Fig. 1), which requires measures to restore the normal frequency level.Sequential steps to increase the frequency include: loading Dnipro HPP-1 to its maximum power of 600 MW,increasing the load of Kremenchuk HPP by 150 MW,increasing the load of two units of Trypillia TPP to 630 MW.As a result, the frequency is restored to 49.92 Hz (Fig. 2).



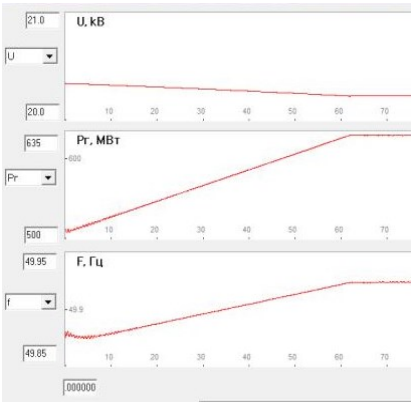


Рис.1. Results of disconnection of the 330 kV Shepetivka–Zhytomyr linemeasures to increase frequency

Рис.2. Results after implementing

Conclusions Modeling transient processes in terms of the occurrence of emergency situations, followed by identifying appropriate actions for their elimination and prevention, can be used in training dispatch personnel of electric power systems.

Особливості керування реактивною потужністю фотовольтаїчної електростанції

Андрій Дорошенко, Дмитро Коломієць, Олександр Серьогін
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Відповідно до п. 4.7.2 ДСТУ EN 50549-1:2022, генерувальна установка фотовольтаїчної електростанції (ФВЕС) повинна мати можливість підтримувати напругу в точці приєднання за рахунок керування реактивною потужністю, а конкретний режим і параметри такого регулювання має визначати оператор системи розподілу. Стандартом передбачено наступні режими: фіксоване значення Q, режим Q(U), фіксоване значення cos φ та режим cos φ(P), причому одночасно може бути активним лише один із цих режимів.

Матеріали і методи. Дослідження проведено на інверторах Huawei 33KTL-M3, Fronius Symo 15 kVA та SolarEdge SE10. Мета роботи – за результатами натурного експерименту перевірити особливості налаштування та практичного використання режимів керування реактивною потужністю, зіставити реалізовані виробником функції з режимами передбаченими стандартом.

Результати. Експериментально було встановлено, що всі інвертори мають режим Q(U)+Q(P), а інвертор Huawei 33KTL-M3 має ще й додатковий особливий режим керування cos φ(U), де крива задається як вибір з десяти точок PF від U/Un у % (рис. 1. а). В залежності від зниження чи збільшення середньоквадратичної напруги відповідно змінюється знак реактивної потужності.

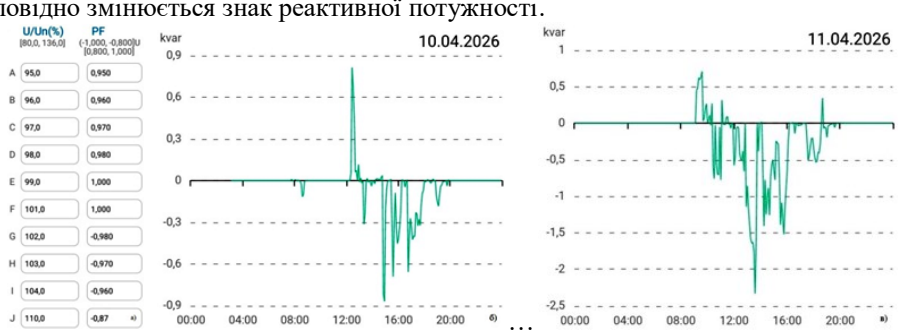


Рис.1. Точки кривої PF від U/Un (%) за (а). Графік вихідної реактивної потужності за 10.04.2026 (б) та 11.04.2026 (в)

За даними 10.04.2026 реактивна потужність змінювалась приблизно від +0,7 до (-0,9) kvar (рис. 1, б), а 11.04.2026 — від близько +0,65 до -2,3 kvar (рис. 1, в). Це свідчить, що в реальних умовах залежно від відхилення напруги від номінальної інвертор автоматично змінює реактивний вплив на мережу. Таким чином, режим cos φ(U), хоча і не входить до базового переліку режимів ДСТУ EN 50549-1:2022, але може застосовуватись стабілізації напруги в локальних мережах.

Висновок. Навіть поєднання Q(U)+Q(P) не є тотожним Q(U,P), оскільки йдеться не про єдину двопараметричну залежність, а про одночасне поєднання двох законів керування. Тому таке поєднання не може замінити PF(U). На відміну від режиму Q(U), де інвертор працює як STATCOM і регулює реактивну потужність тільки за рівнем напруги, у режимі PF(U) реактивна потужність залежить і від напруги, і від фактичної активної генерації. Тому в режимі Q(U) інвертор намагається стабілізувати напругу навіть за малої генерації, де причина відхилення напруги не є впливом самої генерації, тоді як PF(U) переважно компенсує вплив власної генерації інвертора на мережу.

18.3.

Renewable energy is basis of distributed generation

18.3.

Відновлювальна енергетика – основа розподіленої генерації

Mathematical modeling of coordination algorithms for distributed generation facilities within a virtual power plant

Yuliia Nechytailo[1], Tetiana Pluhina[2]
1 – State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
2 – Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

Introduction. Modern energy is transforming into a high-tech Data-Driven industry, where the concept of a virtual power plant (VPP) becomes a key tool for integrating renewable sources. The implementation of VPP allows combining territorially dispersed generation facilities and energy storage systems into a single intelligent network capable of flexibly responding to the challenges of the power system. The effectiveness of such a model directly depends on the mathematical accuracy of coordination algorithms and the stability of the digital infrastructure in the conditions of the stochastic nature of generation.

Materials and methods. The research methodology is based on a multi-level data acquisition and processing architecture that combines mathematical programming methods, system analysis theory, and deep machine learning. At the lower level of the architecture, the data acquisition layer is implemented via IoT protocols: MQTT is used for fast telemetry transmission with low latency and support for quality of service levels (QoS 1/2), and Modbus TCP provides direct access to the internal registers of inverters for precise control of output power. Generation forecasting is integrated into the model through recurrent neural networks of the LSTM (Long Short-Term Memory) type, which are able to detect long-term dependencies in the insolation time series, taking into account not only historical data, but also dynamic parameters of cloud density and atmospheric pressure obtained through the API of meteorological services [1].

The mathematical core of the system is based on solving the dynamic optimization problem in real time. The objective function of the control model is aimed at minimizing the total deviation from the given dispatching load schedule, which allows VPP to act as the only stable object on the market:

$$F = \min \sum_{t=1}^{T} \left(\left| P_{req}(t) - \sum_{t=1}^{n} P_{gen,i}(t) \pm \sum_{j=1}^{m} P_{bat,j}(t) \right| \cdot C_{grid}(t) \right)$$

where $P_{req}(t)$ is the target power;
$P_{gen,i}(t)$ is the predicted output of the i-th object;
$P_{bat,j}(t)$ is the controlled power of the j-th battery;
$C_{grid}(t)$ is the balancing cost function [2].

To ensure the survivability of the system, the Edge Computing concept based on ESP32 and Arduino controllers was implemented. The local algorithm at the peripheral level acts as a regulator, which in case of loss of communication with the central cloud server switches to the autonomous balancing mode according to the Model Predictive Control (MPC) principle. This allows calculating the optimal state of charge (SoC) locally, taking into account the limitations of the “standby reserve” and preventing battery degradation. This approach minimizes the risks of cascading outages in the event of cyber incidents or technical failures in the backbone data transmission networks [3].

Results. The simulation investigated the efficiency of energy storage systems (BESS) capacity allocation using the “20/80” model. The results showed that reserving 20% of the

capacity ($k_{res} = 0.2$) is sufficient to cover the basic needs of the household (lighting, communication and security systems) for 4–6 hours, which creates critical psychological and technical comfort for the owner. The remaining 80% of the capacity, involved in the general VPP pool, provides a significant resource for maintaining the network frequency ($50 \pm 0.2\ Hz$) through the fast frequency response mechanism (Frequency Response). Comparative analysis showed that the use of Machine Learning to take into account cloudiness allows reducing the root mean square error (RMSE) of generation forecasting by 18–22% compared to standard statistical methods. This directly affects the economics of the project: the more accurate the forecast, the less hot reserve in the batteries needs to be kept, which frees up an additional 5–10% of capacity for commercial sale in the ancillary services market [4]. Discussion of the technical aspects of Edge computing confirmed that local data processing reduces the load on communication channels by 60%, since only aggregated reports are transmitted to the cloud, and not the raw telemetry stream. The economic feasibility is confirmed by the introduction of a special tariff for VPP participants. It has been established that when 80% of the battery capacity is actively used to balance peaks in the network, the owner receives a reward that is 35% higher than the profit from simply selling electricity at a "green" tariff. This creates a sustainable motivation for private investors to become part of the distributed energy system. An important aspect of the discussion is also the extension of the service life of inverters by smoothing charge-discharge cycles using intelligent algorithms that take into account the temperature regime and the current state of degradation of cells (State of Health) [5].

Conclusions. The proposed mathematical coordination model proves that the efficiency of VPP is achieved not only through capacity expansion, but also through intelligent resource allocation and forecasting. The combination of Edge computing with machine learning algorithms and the 20/80 "standby reserve" model creates a fault-tolerant system that maximizes the benefit for both the consumer and the stability of the national energy system.

References

1. Pudjianto, D., Ramsay, C., & Strbac, G. (2007). Virtual power plant and system integration of distributed energy resources. IET Renewable Power Generation, 1(1), 10-16.
2. Bhattarai, B.P., et al. (2020). Virtual power plant for resilience in smart grids: A review. IEEE Access, 8, 11041-11059.
3. Nosratabadi, S. M., Hooshmand, R. A., & Gholipour, E. (2017). A comprehensive review on microgrid and virtual power plant concepts employed for distributed energy resources scheduling in power systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 341-363.
4. Asmus, P. (2010). Microgrids, Virtual Power Plants and Our Distributed Energy Future. The Electricity Journal, 23(10), 72-82.
5. Naval, N., & Yusta, J.M. (2021). Virtual power plant management in the electricity market: A systematic review. Electric Power Systems Research, 191, 106883.

Регулювання напруги в локальній мережі за допомогою реактивної потужності фотовольтаїчної електростанції

Андрій Дорошенко, Дмитро Коломієць, Олександр Серьогін
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Генерація фотовольтаїчної електростанції (ФВЕС) дає можливість стабілізувати напругу мережі. Якщо стабілізація не досягається, то стандартом ДСТУ EN 50549-1:2022 передбачено поетапне реагування шляхом обмеження активної потужності, регулювання напруги за допомогою реактивної потужності та аварійне відключення інвертора. Для приватних власників в Україні регулювання напруги реактивною потужністю практично не застосовується. Відсутні також рекомендовані параметри налаштування з боку операторів системи розподілу. Натомість, як захисний засіб, зобов'язують встановлювати реле напруги, що призводить до частих відключень ФДЕС і, відповідно, втрат генерації.

Матеріали та методи. Проведено експериментальне дослідження на реальному об'єкті - інверторі Fronius Symo 15 KVa. Було налаштовано керування реактивною потужністю в залежності від напруги мережі *Q(U)*. Згідно спільного австралійсько-новозеландського стандарту AS/NZS4777.2:2015, активовано режим *Q Volt-Var mode* з параметрами (рис. 1). Мета роботи - експериментальна перевірка ефективності регулювання напруги за допомогою реактивної потужності ФВЕС.

Reference point		Set Points	Setting Range
0 = V1	207V PF=0.95	0 - 0	90%
		0 - 1	+31.22%
1 = V2	220V PF=1	1 - 0	95.6%
		1 - 1	0%
2 = V3	248V PF=1	2 - 0	107.8%
		2 - 1	0%
3 = V4	253V PF=0.9	3 - 0	110%
		3 - 1	-43.58%

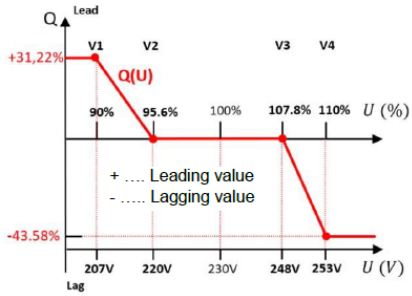


Рис. 1. Налаштування режиму Q(U) (Volt-Var mode) інвертора Fronius Symo згідно AS/NZS 4777.2:2015

Результати. Дослідження проводили у сонячні дні 14.03.2026 та 05.04.2026. З результатів (рис. 2) бачимо, що провал напруги по фазах до 215,90 V; 212,30 V; 220 V відповідно, привів до генерації реактивної потужності 2639,31 VAr. При піднятті напруги до 257,74 V; 257,40 V; 262,94 V споживання реактивної потужності становило -6551,87 VAr, що відповідає налаштованому максимуму. В даному разі 43,58 % від 15000 VA, тобто 6537 VAr. Отже підняття напруги призводить до споживання реактивної потужності.

З даних досліджень від 05.04.2026 (рис. 3) бачимо, що при меншій ніж на наведеній на рис. 2, але також завищеній напрузі фаз (відповідно 250,70 V; 254,89 V; 246,00 V) споживання реактивної потужності становило -3452,43 VAr. До відповідних налаштувань напругу збільшували до 270 V, що призводило до вимкнення гібридної установки Victron Energy та перемикання навантаження на живлення від АКБ. Було встановлено, що напруга, яка не перевищує 265 V, хоча і перевищує на 15,2 %

стандартну номінальну (230 V), але не призводить до вимикання гібридної установки від мережі.

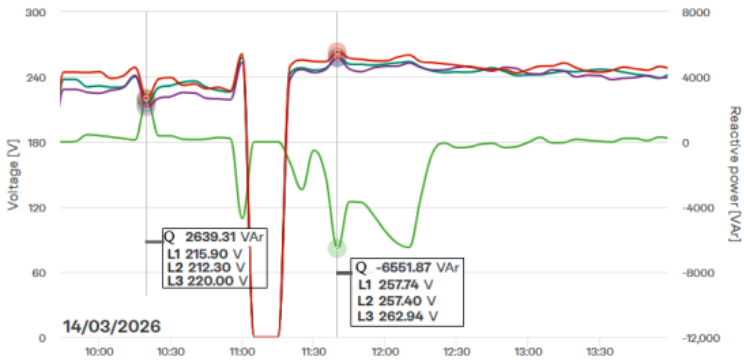


Рис. 2. Залежність реактивної потужності інвертора Fronius Symo від рівня фазної напруги в локальній мережі 14.03.2026

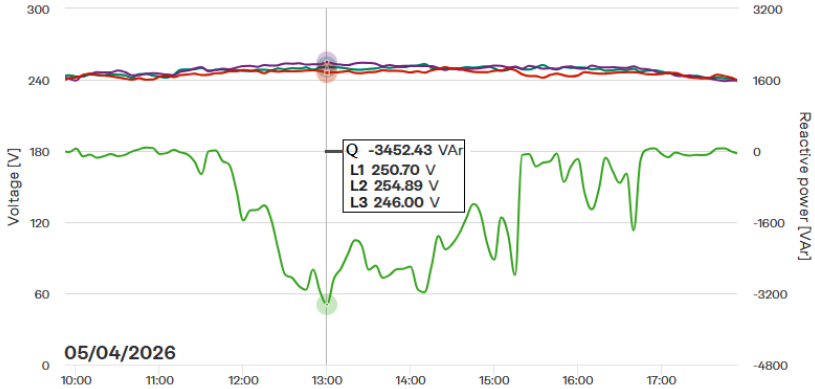


Рис. 3. Вплив регулювання реактивної потужності інвертора Fronius Symo на обмеження перенапруги в локальній мережі 05.04.2026

Характерні зміни параметрів локальної мережі, показані на дослідних графіках свідчать - реактивна потужність системи впливає на напругу мережі, що призводить до зменшення гострих екстремумів та підвищує ефективність регулювання. На відміну від Австралії (AS/NZS 4777.2), де для побутових користувачів стандарти дуже деталізовані, в Україні, конкретні «криві» регулювання не прописуються. Стандарт ДСТУ EN 50549-1:2022 є рамковим - інвертор повинен вимикатися при 253 V (1,1 U_n) протягом 10 хвилин (середнє значення), при 264,5 V (1,15 U_n) - миттєве вимкнення, а також інвертор повинен мати можливість працювати в режимі регулювання напруги реактивною потужністю. Однак конкретні точки кривої, тобто при якій напрузі і який відсоток реактивної потужності видавати або споживати, має встановлювати оператор системи розподілу залежно від стану конкретної мережі. Але для приватних користувачів наразі оператор цього не робить і не контролює.

Висновок. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження алгоритмів Q(U) для підвищення якості електроенергії в умовах нестабільної роботи мережі та необхідність конкретизації таких налаштувань з боку оператора системи розподілу.

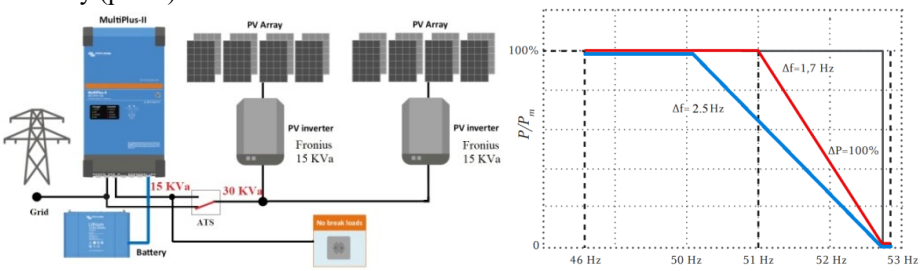
Можливість порушення правила співвідношення номінальних потужностей 1:1 в режимі AC coupling

Андрій Дорошенко, Дмитро Коломієць, Олександр Серьогін
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У режимі «AC coupling» мережевий інвертор “А” під’єднують на вихід гібридного інвертора “Б”. Відповідно, “А” генерує в штучну мережу утворену “Б” з обмеженням максимальної потужності “А” (не більше ніж “Б” може прийняти). Недотримання цього правила може порушити баланс генерації та споживання і, як наслідок, в кращому випадку - спрацювання захисту та аварійне відключення або вихід з ладу обладнання.

Матеріали і методи. Експериментальну установку побудовано на базі гібридних Victron Energy 3xMultiPlus II-5000VA (сумарно 15 kVA) та мережевих інверторів 2xFronius Symo 15 kVA (сумарно 30 kVA). Досліджувалося співвідношення 1:2, тобто двократне перевантаження. Мета дослідження – розробити технічне рішення такого підключення та принцип керування системою.

Результати. В еексперименті при вимкнені мережі автоматично обмежували максимальну генерацію керованого інвертора “А”, щоб основний двонаправлений “Б” зміг забезпечити баланс потужностей і стабілізувати напругу на виході (рис. 1, а). Це дає змогу використати наявні потужні генераторні мережеві установки (які не можуть працювати без наявності мережі) для синхронізації з менш потужним гібридним інвертором через механізм зсуву частоти (frequency shifting), як показано на рис. 1, б. Таке рішення особливо актуально взимку - не втрачається генерація; сонячна енергія з всього доступного PV масиву використовується в автономній microgrid мережі. Для цього використали DNO-входи на платі Fronius DataManager та з’єднали їх з MQTT-реле Shelly (рис.2).



а) б)

Рис.1. Схема експериментальної установки (а) та принцип керування потужністю шляхом зміни частоти (б)

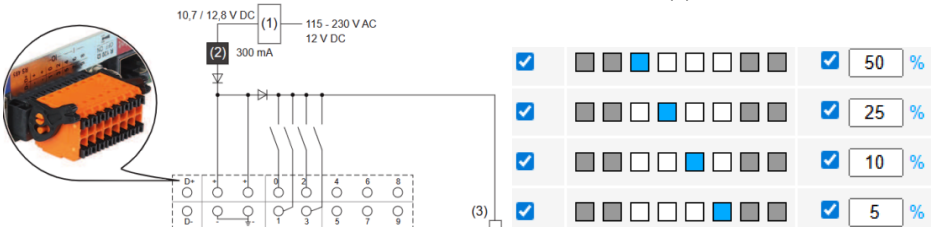


Рис. 2. Схема підключення реле до IN-входів Datamanager та програмування потужності в залежності від бінарної комбінації входу

Через Web-interface інвертора налаштували правила обмеження потужності, тестували як з одним правилом 50% (1 вхід), так і з декількома 5%, 10%, 25%, 50% (4 входи). Тобто таким чином реалізували можливість бінарного керування обмеженням потужності. Реле за відповідною командою замикає потрібні входи керування, чим зменшує потужність інвертора при зникненні мережі в 2 рази і правило співвідношення 1:1 починає виконуватися. АВР перемикає живлення для Fronius інверторів з AC-in (мережа, grid) на AC-out (режим AC-coupling, microgrid). Керування реле здійснювали за допомогою Node-RED. Налаштування мережі Fronius встановлено на MG50. Перемикання Fronius на мікромережу та роботу інверторів на зниженій потужності показано на рис. 3.

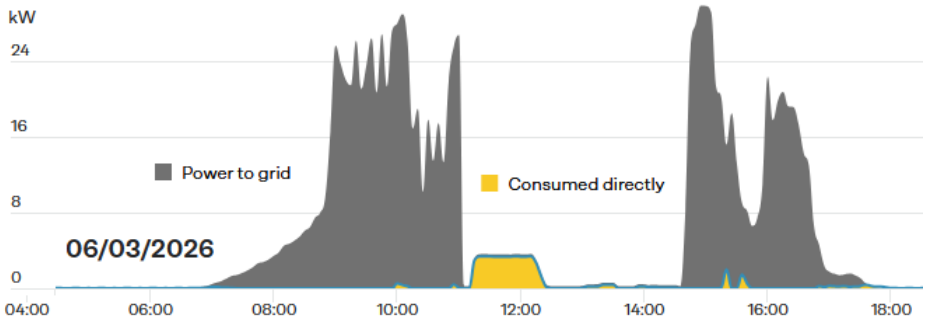


Рис. 3. Сумарна генерація інверторів Fronius.

Рис. 4. Зміна частоти мікромережі автономного інвертора MultiPlus

З рис. 4 бачимо, що частота мережі трималася 50 Hz до 11.00. Далі мережа живлення зникла, частота тимчасово піднялася до 53 Гц, АВР перемкнув мережеві інвертори Fronius на мікромережу. Через встановлену затримку часу частота почала знижуватися до 50 Hz для увімкнення генерації (див. рис.2) і через зворотній зв'язок стабілізувалася на рівні 51,7 Hz – зарядка АКБ. Після того як батарея зарядилася до 100%, MultiPlus знову підняв частоту до 53 Hz, знизивши генерацію практично до нуля. Поточне навантаження частково розрядило батарею і, відповідно, частота короткочасно знизилася до 50 Hz, знову увімкнувши генерацію для зарядки та компенсації споживання. Далі процес циклічно повторювався до відновлення мережі. Спрацював АВР і перемкнув Fronius зі штучної мікромережі на локальну мережу оператора. Гібридний інвертор синхронізувався з мережею і всі інвертори почали працювати незалежно кожен за своїми максимальними налаштовуваннями потужності в звичайному режимі.

Висновок. Результати натурного експерименту підтвердили можливість реалізації режиму AC coupling при співвідношенні потужностей гібридного та мережевих інверторів 1:2. Запропоноване рішення дозволяє використовувати наявні мережеві PV-інвертори під час відсутності зовнішньої мережі без заміни їх на гібридні або DC PV chargers, що зменшує капітальні витрати та дає змогу ефективно використовувати сонячну енергію.

Доцільність однокрокового прогнозування за допомогою ANFIS при генерації ФВЕС в локальних енергомережах

Микола Маслій, Олексій Поліщук, Сергій Льовочкін
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Наразі централізовані електричні системи функціонують із значними перешкодами як у надійності електропостачання, так і якості електричної енергії. Одним із сучасних підходів у вирішенні цих проблем є налаштування локальних енергомереж, важливою ланкою генерації яких є фотовольтаїчні електричні станції (ФВЕС). Поєднуючи одночасно генерацію і накопичення енергії, та маючі широкі можливість інтелектуального керування, ФВЕС здатні вносити корективи у системи електропостачання шляхом точного прогнозування генерації електроенергії в короткостроковому періоді.

Матеріали і методи. Дослідження проводилися з використанням програмного середовища MATLAB 2020b і набору інструментів Fuzzy Logic Toolbox. Однокрокове ПЕН за допомогою ANFIS створена на базі моделі Yarpiz / Mostapha Heris (2023). Налагодження та тестування моделей проводилося з використанням годинних вимірів кожного дня (24 виміри на добу).

Результати. Як відмічалось раніше [1], короткострокові прогнози є основою погодинного прогнозування генерації ФВЕС на добу наперед. Наразі серед методів інтелектуального прогнозування найбільшою популярністю користуються моделі на основі штучних нейронних мереж (ANN) і адаптивних нейронечітких систем логічного висновку (ANFIS). Моделювання ANFIS складається з шести етапів:

1. Підготовка вхідних даних. Дані вимірювань містять: вхідні дані – сонячна інсоляція (кВт/м^2), швидкість вітру (м/с), відносна вологість (%) та температура навколишнього середовища; а вихідні дані – потужність, електрична енергія вироблена ФЕС (MW·h).

2. Для прогнозування використовували реальні дані генерація (в kW·h), що вимірювалися кожні півгодини (24 вимірювань на добу) протягом року з урахуванням святкових і вихідних днів. Розподіл даних на навчальну та тестову вибірки детально надаються у доповіді.

3. Налаштування параметрів FIS для навчальних даних. На цьому етапі використовуються моделі ANFIS FCM Clustering:

4 Навчання структури ANFIS. На цьому етапі проводили навчання моделі fis протягом 100 епох для методів. Застосовували гібридний метод, де OptimizationMethod=1.

5. Використовували функцію evalfis для прогнозування ПЕН FIS**.**

6. Визначали RMSE як для навчальної, так і тестової вибірок.

Встановлено, що найбільш ефективною моделлю прогнозування є ANFIS Grid partitioning з 2 термами, яка має значення RMSE 0,2257% для тестових даних.

Висновок. Підвищити точність прогнозів можуть додаткові вхідні параметри моделі ANFIS - генерація ФЕС попереднього дня, тобто на один крок назад (t-n).

[1]. Зінькевич, П. О. Порівняльний аналіз інтелектуальних методів прогнозування генерації електроенергії фотоелектричними станціями (ФЕС) / П. О. Зінькевич, В. В. Шпак, М. В. Маслій // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами : матеріали XI Міжнародної науково-технічної Internet-конференції, 27 листопада 2024 р., м. Київ. – Київ : НУХТ, 2024. – С. 61–62.

Переваги використання SCADA-системи в локальних мережах

Олексій Поліщук, Микола Маслій, Артем Панченко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. В умовах сьогодення потреба в надійному електропостачанні стала першочерговою задачею енергетичної безпеки країни, особливо в зимовий період. Порушення функціонування систем життєзабезпечення внаслідок ворожих обстрілів зумовило розробку технологій отримання оперативної інформації, які дозволяють дистанційно контролювати та управляти ключовими параметрами системи. Мета дослідження – на підставі огляду доступних літературних джерел виявити ключові переваги інтеграції SCADA-технологій у процеси генерації та розподілу електроенергії

Матеріали і методи. В електроенергетичній галузі, починаючи від генерації та закінчуючи розподілом електричної енергії, SCADA є ключовим інструментом управління системою. Значення параметрів у розрахунковій схемі лінії електропередачі часто виявляють невідповідність реальним даним, отриманим шляхом безпосередніх вимірювань за допомогою SCADA. подібні похибки стають причиною неефективного економічного диспетчеризації, зростання операційних витрат та помилок у фінансових розрахунках із клієнтами.

Результати. За результатами огляду відкритих вітчизняних та закордонних інформаційних джерел можна констатувати такі переваги інтеграції SCADA-технологій у системи електропостачання (табл. 1):

Таблиця 1. Ключові переваги інтеграції SCADA-технологій у процеси генерації та розподілу електроенергії

Перевага	Опис
Оцінка стану мережі в режимі реального часу	Оператори отримують повну картину стану мережі в режимі реального часу, що дозволяє виявляти відхилення до виникнення аварій
Скорочення часу відновлення	Швидка локалізація пошкодження та дистанційне перемикання мережевої конфігурації скорочують час відключення споживачів
Оперативний баланс навантаження	Перерозподіл потоків потужності в реальному часі для запобігання перевантаженням та оптимізації використання ресурсів
Інтеграція ВДЕ в локальні мережі	Управління непостійними джерелами (сонце, вітер) та їхня оптимальна інтеграція в загальну та локальні мережі
Прогнозне обслуговування	Моніторинг стану обладнання дозволяє виявляти проблеми до виходу з ладу, плануючи технічне обслуговування заздалегідь
Зниження витрат	Оптимізація режимів роботи, зменшення технічних втрат та скорочення кількості виїздів персоналу на об'єкти

Висновок. Впровадження SCADA в енергосистему підвищує загальну ефективність за рахунок оптимізації, контролю та управління системами генерації, передачі і розподілу. SCADA забезпечує більш високий рівень надійності та стабільності системи для комплексної роботи мережі.

Section 19

Automation and computer-integrated technologies

Секція 19

Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології

19.1.

Automation and computer-integrated technologies

19.1.

Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології

Virtual Shadow Model for Increasing Control Accuracy of Thermal Objects

Cinque Kamelia
Institute of Printing Art and Media Technologies in Lviv Polytechnic National University

Introduction. Modern industrial automation requires high precision in maintaining technological parameters. Traditional PID controllers often fail to handle high-inertia objects with significant transport delay. The use of Digital Twin technology allows for predictive modeling of system behavior, significantly reducing energy losses and improving product quality stability.

Materials and methods. The object of the study is a high-inertia thermal plant characterized by a first-order transfer function with delay. The Digital Twin was developed using C# environment and mathematical modeling of transient processes. Data exchange between the physical sensors and the virtual model was implemented via the industrial communication protocols to ensure real-time synchronization. The interaction structure is shown in Fig. 1.

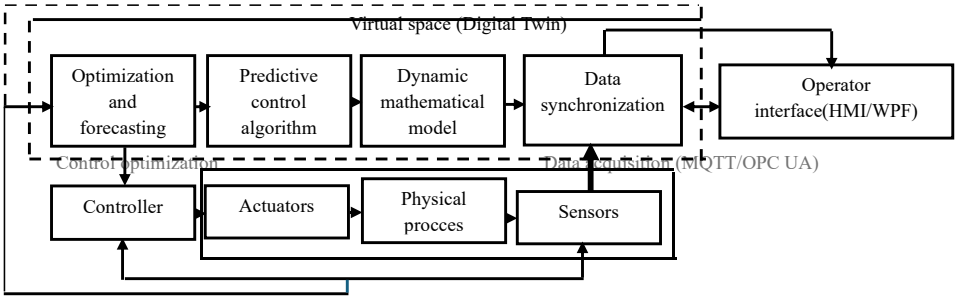


Fig. 1.

Results and discussion. During the simulation, a predictive control algorithm based on the Digital Twin was tested. Unlike standard regulation, the DT-based system calculates the control action by forecasting the object's state 10-15 seconds ahead. This approach allowed reducing the overshoot from 18% to 4.5% during the heating phase. The settling time of the operating temperature (120°C) was decreased by 22% compared to classical automation schemes. The error between the virtual model and the real process did not exceed 1.2%, confirming the high adequacy of the developed twin.

Conclusions. The implementation of a Digital Twin for high-inertia objects provides a significant transition to Industry 4.0 standards. It enables proactive equipment diagnostics and optimizes energy consumption by preventing emergency overheating.

References

1. Tao F., Zhang M., Nee A. Y. C. Digital Twin Driven Smart Manufacturing. Academic Press, 2019. 280 p.
2. VERT, Matthieu; SHARPANSKYKH, Alexei; CURRAN, Richard. Adaptive resilience of complex safety-critical sociotechnical systems: Toward a unified conceptual framework and its formalization. *Sustainability*, 2021, 13.24: 13915.
3. Чінкуе К. Імітаційний цифровий двійник поліграфічної установки з інтелектуальними алгоритмам. Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики. №2, 2025. С. 300-302.

Automation system with a diffusion station model as the basis of a digital twin of the technological process

Viktor Sidletskyi
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. Conventional automation systems maintain standard control loops reliably, but they do not directly identify changes in chip condition and therefore may respond to process disturbances with delay. For this reason, the development of an automation system supplemented with a process model is an important prerequisite for creating a digital twin of the diffusion process.

Materials and methods. The study is based on the analysis of the extraction process in a column diffusion station, the technological scheme of the station, and the functional structure of its automation system. The process was considered as countercurrent extraction of sucrose from beet chips, including molecular diffusion inside the solid phase and convective mass transfer at the solid–liquid boundary. For the formal description of the process, the material balance of the diffusion unit and the juice withdrawal coefficient were used, where the operating objective is to maintain the required balance. The model variables included juice and chip flowrates, temperature in the scalding unit and the column, pH, dry solids, diffusion juice purity, sugar losses in pulp, and indirect indicators of chip condition. .

Results and discussion. A model-oriented extension of the conventional three-level automation architecture was substantiated for the diffusion station. In the traditional structure, sensors and actuators form the first level, a microprocessor controller performs control algorithms at the second level, and the operator workstation provides supervision and diagnosis at the third level. The proposed extension introduces a process model layer that links measured parameters with weakly formalized factors, especially beet chip quality and chip-state changes, which are critical for process stability but cannot be measured directly by existing instrumentation. Such a model makes it possible to interpret disturbances not only through local deviations of temperature, level, or flowrate, but also through their combined influence on chip movement, and final product quality.

Conclusions. The diffusion station should be considered as a complex technological object whose effective automation requires both direct measurement of standard process variables and model-based interpretation of weakly formalized factors. The proposed automation system with a diffusion-station model can be regarded as the basis of a digital twin of the technological process, because it combines material balance, structural process relations, and regulated operating ranges in a single information framework for monitoring, prediction, and supervisory support of operator decisions.

References

1. Sidletskyi, V. M., & Elperin, I. V. (2022). Tekhnolohii konstruiuvannia suchasnykh avtomatyzovanykh system [Technologies for designing modern automated systems]. Kyiv: Lira-K. 180 p. (in Ukrainian).
2. Sidletskyi, V., & Kukhar, O. (2024). Change of crystallization process attributes in a vacuum pan of automation systems, Ukrainian Food Journal, 13(2), 366–384. https://doi.org/10.24263/2304-974X-2024-13-2-12
3. Sidletskyi, V. Automation of a sugar plant diffusion station with a subsystem for resolving conflict modes / V. Sidletskyi, O. Kukhar, P. Yushchuk // Ukrainian Journal of Food Science. – 2023. – Vol. 11, Issue 2. – Pp. 134–148. DOI: 10.24263/2310- 1008-2023-11-2-7

Automation system with a multidimensional description of diffusion operating modes for early warning of process disturbances

Viktor Sidletskyi
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The aim of this study was to develop a multidimensional description of diffusion operating modes that can be embedded into the automation system for early detection of unfavorable process deviations.

Materials and methods. The study used materials from the analysis of a column diffusion station, its automation structure, and archived technological data. For prediction of operating indicators, regression analysis was selected after test comparison with neural-network modeling. A seven-variable regression model for sugar losses in pulp included column temperature, column level, column motor voltage, scalding temperature, diffusion-juice flowrate, chip flowrate, and chip defect percentage.

Results. It was established that early warning should be based on a coordinated analysis of several variables rather than on isolated control-loop deviations, because the same quality deterioration may be caused by different combinations of chip condition, loading, temperature, pH, and juice withdrawal. The recommended operating region of the diffusion station was defined by the following values: diffusion-juice withdrawal 120–125% of beet mass, with sucrose in pulp not higher than 0.4%; sugar losses in pulp 0.30–0.35% of beet mass; diffusion juice temperature to the scalding unit 78–80 °C; returned pulp-press water 70–75 °C; fresh sulphited water 65–70 °C; active diffusion time 75–80 min; scalding time 13–19 min; feed-water pH 5.5–6.5; and diffusion-juice pH 6.0–6.2. It was also shown that conventional systems may react with delay because they do not instrumentally evaluate raw-material quality, chip state, or chip movement in the apparatus. For predictive evaluation, regression models of station performance indicators were obtained. For sugar content in diffusion juice, the predicted values for three validation periods were 11.67%, 11.59%, and 11.93% against smoothed values of 11.81%, 11.84%, and 11.95%, with relative errors of 1.19%, 2.11%, and 0.17%, respectively, and coefficients of determination R^2=0.723, 0.91, and 0.87. In addition, a normalized matrix of 128 combinations of performance indicators was formed to support selection of operator recommendations. These results confirm that a multidimensional mode description can be used not only for monitoring, but also for early warning and decision support in supervisory control.

Conclusions. A multidimensional description of diffusion operating modes was developed for integration into the automation system of a diffusion station. The scientific value of the proposed approach lies in combining regulated technological parameters, predictive regression models, and weakly formalized chip-state factors into a single framework for early warning of process disturbances and operator decision support.

References

4. Sidletskyi, V. M., & Elperin, I. V. (2022). Tekhnolohii konstruiuvannia suchasnykh avtomatyzovanykh system [Technologies for designing modern automated systems]. Kyiv: Lira-K. 180 p. (in Ukrainian).
5. Sidletskyi, V. Automation of a sugar plant diffusion station with a subsystem for resolving conflict modes / V. Sidletskyi, O. Kukhar, P. Yushchuk // Ukrainian Journal of Food Science. – 2023. – Vol. 11, Issue 2. – Pp. 134–148. DOI: 10.24263/2310- 1008-2023-11-2-7

Automation system with a subsystem for assessing conflicting control modes based on a semantic description of causal relationships

Viktor Sidletskyi
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. Conventional automation systems maintain regulated variables but cannot directly assess chip state, raw-material quality, or chip movement inside the apparatus; therefore, conflicting control situations are often detected with delay. The aim of this study was to develop a subsystem for assessing conflicting control modes based on a semantic description of cause–effect relationships in the diffusion process.

Materials and Methods. The semantic description combined measured variables, weakly formalized factors, a state-recognition block, a cause-identification block, and an inference block for generating operator recommendations. To represent interdependencies between control actions and process states, the following structural relations were used: Y=f(R,V,Z), where productivity depends on specific loading, shaft speed, and chip movement; R=f(V,F,L,W,I), where loading depends on shaft speed, chip flowrate, level, chip quality, and motor load; and Z=f(R,P,W,T), where chip movement depends on loading, pH, chip quality, and temperature.

Results. A subsystem for assessing conflicting control modes was developed for the supervisory level of the diffusion-station automation system. It was shown that improving one target indicator may worsen another one; for example, changing productivity through shaft speed without considering chip state alters loading and chip movement, which can further degrade juice quality and increase sugar losses. The subsystem therefore evaluates corrective actions not by a single indicator.The recommended operating region embedded in the semantic model included diffusion-juice withdrawal of 120–125% of beet mass, sugar losses in pulp of 0.30–0.35% of beet mass, juice temperature to the scalding unit of 78–80 °C, returned pulp-press water temperature of 70–75 °C, fresh sulphited water temperature of 65–70 °C, active diffusion time of 75–80 min, scalding time of 13–19 min, feed-water pH of 5.5–6.5, and diffusion-juice pH of 6.0–6.2. Under the optimal withdrawal regime, sucrose in pulp did not exceed 0.4%, whereas lowering withdrawal to 115% increased sucrose losses to 0.5–0.55% of beet mass. For selecting recommended actions, a normalized matrix of 128 combinations of diffusion-station performance indicators was formed. This made it possible to rank alternative corrective actions and to detect conflict situations in which the same deviation in quality indicators could correspond to different cause–effect chains and therefore require different control decisions.

Conclusions. The proposed subsystem extends conventional diffusion-station automation by combining semantic cause–effect representation, a rule-based knowledge base, and multicriteria assessment of alternative control actions. Its scientific novelty lies in the formalization of conflicting control modes and in the use of a structured 128-state recommendation space for justified operator support under ambiguous process conditions.

References

1. Sidletskyi, V. M., & Elperin, I. V. (2022). Tekhnolohii konstruiuvannia suchasnykh avtomatyzovanykh system [Technologies for designing modern automated systems]. Kyiv: Lira-K. 180 p. (in Ukrainian).

A Decision Support System for Predictive Environmental and Climate Management in Agricultural Complexes

Nataliia Zaiets[1], Stefan Junge [2]
1- National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine
2 - Berliner Hochschule für Technik, Berlin, Germany

Introduction. The developed decision support system (DSS) is aimed at improving environmental and climate management and increasing the resource efficiency of agro-industrial enterprises through predictive process control based on artificial intelligence and digital modeling. In the context of growing climate risks and environmental challenges, such intelligent digital tools are essential for sustainable agricultural production. The DSS integrates digital twins and real-time monitoring technologies to enable comprehensive analysis, forecasting, and management of environmental and resource-related processes. It forms a unified digital ecosystem that combines data from automated measurement systems, laboratories, and expert assessments.

Materials and methods. The study is based on the development of an intelligent digital decision support system (DSS) integrating artificial intelligence, digital twins, and knowledge-based modeling of agro-industrial processes. The DSS architecture includes databases, mathematical models, and analytical modules for real-time or near real-time data processing. Data are collected from automated monitoring systems, production laboratories, and expert assessments. In addition, wheeled agricultural robots equipped with environmental sensors are used to gather data from livestock and greenhouse complexes. The DSS operates at the MES/MOM level and includes predictive analytics, risk assessment, and optimization tools. It supports forecasting of environmental impacts, equipment failures, greenhouse gas emissions, and performance indicators of treatment facilities.

Results and discussion. The developed decision support system (DSS) enables comprehensive monitoring and predictive management of environmental, climatic, and resource-related processes in agro-industrial enterprises. The integration of digital twins and real-time data streams allows accurate forecasting of risks associated with energy and water consumption, waste disposal, and greenhouse gas emissions.

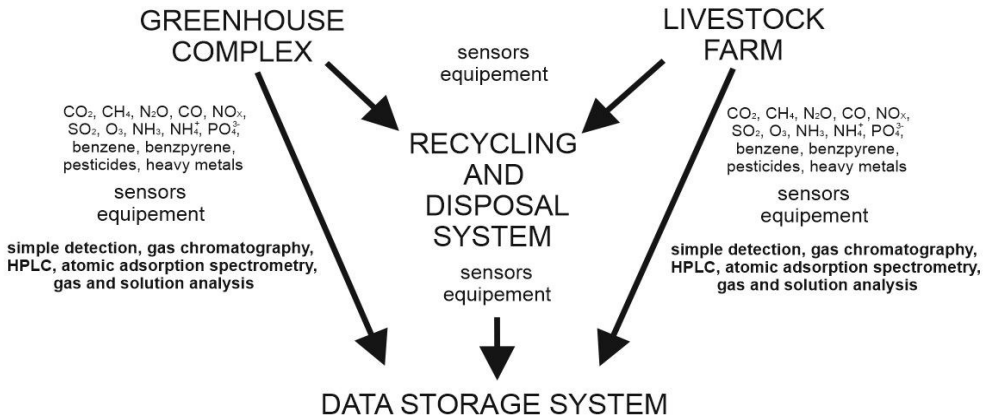


Fig. 1. Scheme of primary collection of resource and ecological-climatic data in ecological-climatic model of agricultural production

The main sources of environmentally hazardous emissions in agricultural production are livestock farms, including manure (open and closed storage), animals (methane-forming microorganisms and fine dust), as well as plant residues, fertilizers, and pesticides.

For long-term monitoring of gaseous (CO_2, CO, CH_4, N_2O, SO_2, NH_3, O_3, NO_x), liquid (NH_4^+, PO_4^{3-}, benzene, benzpyrene, pesticides), and solid (Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, Se, Pb, fine dust) pollutants, both sensor systems (including PRIVA Connext) and high-resolution analytical equipment are used. These include atomic absorption spectrometry, gas chromatography, gas analyzers, and high-performance liquid chromatography. Quantitative and qualitative assessment of emissions is carried out before and after processing and disposal of plant and animal waste, with data collection and storage supported by enterprise-level servers.

The DSS provides integrated control of greenhouse and livestock complexes, including water supply, wastewater treatment, and biogas systems. It enables both enterprise-level management and regional-scale analysis, supporting forecasting of the climate impact of agricultural clusters. The developed methodological approach allows the formation of a digital climate cluster, ensuring coordinated decision-making based on climate neutrality criteria.

The system also supports modeling of technological processes, improving decision-making under changing operating conditions. Real-time or near real-time optimization of technological modes increases resource efficiency, reduces environmental impact, and enhances climate neutrality. In addition, the DSS stimulates the implementation of resource-saving, energy-efficient, and environmentally friendly technologies and supports environmental management systems.

The digital maturity of enterprises is assessed using standard five-level models (e.g., CMMI, Digital Maturity Models, Smart Industry Readiness Index), enabling classification of digitalization and process management levels.

Conclusions. The developed decision support system (DSS) enables predictive management of environmental, climatic, and resource-related processes in agro-industrial enterprises. Its implementation improves resource efficiency, reduces greenhouse gas emissions, and minimizes environmental risks. The system supports optimization of technological processes and allows coordinated management of enterprises within a regional climate-smart framework. Overall, the DSS provides a scalable solution for enhancing sustainability and environmental safety in agricultural production.

References

1. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.J. (2017), Big data in smart farming – a review, Agricultural Systems, 153, pp. 69–80.
2. Zhang C., Kovacs J.M. (2012), The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review, Precision Agriculture, 13(6), pp. 693–712..
3. Zaiets N., Lutska N., Lysenko V., Bolbot I., Osadchiy S. (2024), Design and development of intelligent control strategies and algorithms for automated control of biotechnical objects under uncertainty, Decision Analytics Journal, 10, 100416. https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100416.
4. Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F.X. (2018), Deep learning in agriculture: A survey, Computers and Electronics in Agriculture, 147, pp. 70–90.

Застосування великих мовних моделей у поєднанні з цифровими двійниками для інтерпретації та керування.

Бутенко Максим, Міркевич Роман
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Останні досягнення у великих мовних моделях (LLM) значно змінили сферу інтерпретації даних у промислових системах керування [1]. Одне з питань, що постає при поєднанні цифрових двійників та великих мовних моделей полягає у розробці найкращого способу їх взаємодії [2].

Матеріали та методи. Для досягнення мети дослідження потрібно застосувати системний підхід, що базується на методах аналізу та синтезу інформаційних потоків у межах цифрового двійника. Шляхом абстрагування побудувати віртуальну модель лінії пастеризації, а за допомогою індуктивного підходу розроблено логіку роботи діагностичного агента на основі бази знань експертів

Результати та обговорення. Запропонована архітектура базується на розгортанні мультиагентного LLM-фреймворку, де кожен агент виконує спеціалізовану функцію для забезпечення стабільності техпроцесу. Центральним елементом є агент-супервізор, який класифікує запити оператора та координує роботу підлеглих агентів, забезпечуючи точність делегування. Для оперативного керування виробництвом молочної продукції повинні бути реалізовані наступні функціональні модулі:

Агент-супервізор: Координує роботу інших агентів та класифікує запити користувача.

Агент з експертизи обладнання: Використовує технологію RAG для пошуку відповідей у посібниках та технічній документації.

Агент з діагностики несправностей: Аналізує аномалії та пропонує кроки для їх усунення.

Однією з перспективних архітектур взаємодії мультиагентного LLM-фреймворку та технології цифрових двійників є застосування LLM-агентів через low-code платформу для автоматизації (наприклад як n8n, Zapier, Make), що дозволить мінімізувати вплив людського фактора на якість продукції, забезпечить можливість використання предиктивного керування та контролю якості молочної продукції.

Висновки. Такий підхід скорочує час на розробку та впровадження інтелектуальних систем керування, дозволяючи підприємствам харчової промисловості гнучко адаптувати логіку роботи агентів до змін у технологічних процесах. Це створює надійне підґрунтя для переходу до концепції Industry 5.0, де синергія людського досвіду та штучного інтелекту стає ключовим фактором ефективності [3].

Література

5. Gautam A., Raj Aryal M., Deshpande S. IIoT-enabled digital twin for legacy and smart factory machines with LLM integration. Journal of Manufacturing Systems. 2025. T. 80. C. 511–523.
6. Peihua M., Shawn T., Yiyang H. Large language models in food science: Innovations, applications, and future. Trends in Food Science & Technology. 2024. T. 148.
7. Pradosh K. G., Tejinder K., Madhusmita M. From Efficiency to Innovation: LLM 5.0 and the Future of Industry. International Conference on Multi-Agent Systems for Collaborative Intelligence (ICMSCI). 2025.

Показник ступення Херста

А.С. Горпинчеко, В.Д. Кишенько

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Показник ступеня Херста (H) є важливою характеристикою в теорія часових рядів, яка використовується для оцінки довгострокової залежності (long-range dependence) у часових рядах

Методи досліджень. Основна ідея полягає у визначенні того, чи має процес «пам'ять» про попередні значення та як ця пам'ять впливає на майбутню динаміку.

Формально показник Херста визначається через залежність нормованого розмаху від довжини вибірки:

$$\frac{R(n)}{R(n)} \approx n^H$$

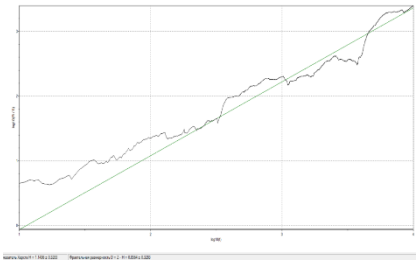


Рис. 1. Розрахунок Херста. Значення H=0.9407 при розмірності D=2-H=1.0593

R(n)— розмах кумулятивних відхилень, S(n)— стандартне відхилення, n — кількість спостережень, а H — показник Херста. Ця залежність відображає масштабну інваріантність процесу та використовується для оцінки фрактальних властивостей часових рядів.

Результати і обговорення. Значення показника Херста лежить у межах від 0 до 1 і має чітку інтерпретацію. Якщо H=0.5H = 0.5H=0.5, процес є випадковим і не має довгострокової пам'яті; типовим прикладом є Броунівський рух. У випадку H>0.5H > 0.5H>0.5 спостерігається персистентність, тобто тенденція до збереження напрямку руху: якщо значення зростало в минулому, воно, ймовірно, продовжить зростати. Якщо ж H<0.5H < 0.5H<0.5, процес є антиперсистентним — значення мають схильність змінювати напрям і повертатися до середнього.

Показник Херста широко застосовується в різних галузях. У фінансах він використовується для аналізу динаміки цін активів і виявлення трендів або ринкової ефективності. У фізиці — для дослідження складних і фрактальних систем, а в гідрології — для аналізу природних процесів, зокрема водних потоків. Завдяки своїй здатності виявляти приховані закономірності у даних, H є важливим інструментом сучасного статистичного аналізу.

Висновок. Отже, показник ступеня Херста дозволяє глибше зрозуміти природу часових рядів, оцінити їхню передбачуваність і структуру залежностей, що робить його незамінним у дослідженнях складних динамічних систем.

Література

1. Hurst, H. E. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. Transactions of the American Society of Civil Engineers.

2. Mandelbrot, B. B., & Wallis, J. R. (1969). Robustness of the rescaled range R/S in the measurement of noncyclic long run statistical dependence. Water Resources Research.

Використання штучного інтелекту на харчовому виробництві

Анастасія Дем'яненко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасних умовах стрімкого розвитку технологій важливе місце займає штучний інтелект, який активно впроваджується у різні галузі промисловості, зокрема й у харчове виробництво. Зростання попиту на якісні та безпечні продукти харчування, а також необхідність оптимізації виробничих процесів зумовлюють потребу у впровадженні інноваційних рішень. Штучний інтелект дозволяє підвищити ефективність виробництва, зменшити витрати ресурсів та забезпечити стабільну якість продукції.

Матеріали і методи. Аналіз наукових публікацій, сучасних досліджень та Інтернет-ресурсів за напрямом застосування штучного інтелекту у харчовій промисловості.

Результати і обговорення. Використання штучного інтелекту у харчовому виробництві відкриває нові можливості для автоматизації та вдосконалення технологічних процесів. Основні напрями застосування включають:

- Контроль якості продукції. Системи комп'ютерного зору дозволяють автоматично виявляти дефекти продукції, контролювати її зовнішній вигляд, колір та форму, що значно знижує ризик потрапляння неякісної продукції до споживача.

- Оптимізація виробничих процесів. Алгоритми штучного інтелекту аналізують великі обсяги даних і допомагають оптимізувати параметри виробництва, зменшити втрати сировини та підвищити продуктивність підприємств.

- Прогнозування попиту. Завдяки аналізу історичних даних та ринкових тенденцій штучний інтелект дозволяє точно прогнозувати попит на продукцію, що сприяє ефективному плануванню виробництва та зменшенню надлишків.

- Безпека харчових продуктів. Системи на основі штучного інтелекту можуть виявляти потенційні ризики забруднення продукції, контролювати дотримання санітарних норм і запобігати виникненню небезпечних ситуацій.

- Персоналізація продуктів харчування. Штучний інтелект дозволяє аналізувати споживчі вподобання, харчові звички та навіть індивідуальні потреби організму (наприклад, алергії або дієтичні обмеження). На основі цих даних підприємства можуть розробляти персоналізовані продукти або адаптувати рецептури, що підвищує задоволеність споживачів і конкурентоспроможність продукції.

Висновки. Використання штучного інтелекту у харчовому виробництві є перспективним напрямом розвитку галузі. Воно сприяє підвищенню якості продукції, ефективності виробництва та безпеки харчових продуктів. Незважаючи на існуючі труднощі, подальше впровадження таких технологій є необхідним кроком для забезпечення конкурентоспроможності підприємств і задоволення потреб споживачів.

Література

1. Оковитий С. І. Сучасні технології харчових виробництв // III Міжнародна конференція студентів та аспірантів: матеріали конференції. Дніпро, 2020. 100 с.
2. Jayan H., Min W., Guo Z. Applications of Artificial Intelligence in Food Industry // Foods. 2025. Vol. 14, No. 7. Article 1241.

Адаптивне керування освітленням рослинної підсистеми аквапоніки на основі PAR-орієнтованої моделі та енергоефективних алгоритмів

Роман Залозний , Наталія Заєць
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Освітлення є одним із ключових факторів функціонування рослинної підсистеми в аквапонічних системах, оскільки безпосередньо впливає на фотосинтез, швидкість росту та якість врожаю. На відміну від природних умов, у штучно керованому середовищі необхідно забезпечити оптимальні параметри світла — інтенсивність, спектральний склад і тривалість освітлення. Традиційні підходи до керування освітленням базуються на фіксованих режимах, що не враховують динаміку росту рослин і змінні умови середовища.

Матеріали і методи. Дослідження базується на аквапонічній системі з LED-освітленням і датчиками, де рівень світла визначається через цільовий PAR(Photosynthetically Active Radiation, PARtarget) з урахуванням приросту біомаси та природного освітлення, а керування реалізується програмно, через ШІМ і зворотний зв'язок для оптимізації росту рослин та енергоспоживання.

Результати і обговорення.

Рівень освітлення можна адаптувати залежно від бажаної швидкості росту рослин (dw/dt). Розрахунок освітлення починається з визначення бажаного PAR, необхідного для підтримки заданої швидкості росту:

PARtarget = PG/YG,

де PG – фотосинтетичний приріст біомаси (моль CO_2/м²/день), який залежить від бажаної швидкості росту dw/dt; YG – квантовий вихід (ефективність використання світла для фотосинтезу, моль CO_2/моль фотонів).

Після визначення PARtarget, розраховується необхідна потужність освітлення:

$$P_{\text{light}} = \frac{PAR_{\text{target}} \cdot A_{\text{plants}}}{\eta_{\text{LED}} \cdot \text{PPFD}_{\text{eff}}},$$

де Aplants – площа покриття рослин (м²); ηLED – ефективність LED-ламп; PPFDeff – ефективна потужність фотонного потоку (моль/м²/с/Вт).

Таким чином, етапи розрахунку включають:

- визначення бажаного приросту біомаси: якщо бажаний приріст маси рослин становить dw/dt=0.1 г/день, і рослини мають середню площу Aplants = 0.5 м², фотосинтетичний приріст біомаси визначається з емпіричної залежності або шляхом моделювання системи.

- розрахунок PAR: при значенні YG=0.05 моль CO_2/моль фотонів необхідний рівень PAR:

$$PAR_{\text{target}} = \frac{PG}{YG} = \frac{0.1}{0.05} = 2\,\text{моль/м}^2\text{/день}.$$

- розрахунок потужності: при ηLED = 0.8 і PPFDeff = 2 моль/м²/с/Вт:

Plight = 0.625 Вт.

Природне освітлення вимірюється у фотосинтетично активній радіації (PAR) і має варіативну інтенсивність залежно від географічного розташування, сезону та погодних умов. Природний PAR можна оцінити за середнім рівнем денного сонячного світла:

$$PAR_{\text{natural}} = \frac{DLI_{\text{natural}}}{A_{\text{lettuce}}},$$

де DLInatural – середнє значення добової світлової дози природного освітлення (моль PAR/м²/день); Alettuce – площа однієї рослини (м²).

У літній день у середньому DLInatural = 15 моль PAR/м²/день.

Якщо Alettuce = 0.025 м², то

PARnatural = 15 моль PAR/м²/день.

Тоді, можна розрахувати потреби у штучному освітленні:

PARartificial = PARtarget − PARnatural

Після підстановки PARtarget 8 моль PAR/м²/день та PARnatural = 15 моль PAR/м²/день отримаємо:

PARartificial = max(8−15, 0) = 0.

Це означає, що при інтенсивному природному освітленні штучне освітлення може не знадобитися.

У зимовий день або в умовах поганої погоди:

DLInatural = 3 моль PAR/м²/день.

PARartificial = max(8−3, 0) = 5 моль PAR/м²/день.

Таким чином потрібне штучне освітлення:

$$P_{\text{light}} = \frac{PAR_{\text{artificial}}}{\eta_{\text{light}} \cdot 3.6}.$$

Тоді при ηlight=0.0025 моль PAR/Вт·с

Plight = 556 Вт·с/м².

Для добової потужності штучного освітлення

Plight, daily = Plight·Tlight. = 6.67 Вт год/м².

що для одного пучка салату становить:

Plettuce, daily = Plight, daily ·Alettuce.

Plettuce, daily = 6.67·0.025 = 0.167 Вт год/пучок/день.

Енергоефективність системи покращується за рахунок використання датчиків інтенсивності освітлення для оптимізації ввімкнення ламп.

Запропоновано наступні алгоритми керування освітленням:

- програмоване включення світла: освітлення вмикається на визначений час, враховуючи добову норму PAR.
- адаптивне регулювання через ШІМ: інтенсивність світла змінюється залежно від поточних умов і цільового PARtarget.
- інтелектуальне керування з датчиками: у системі використовуються датчики рівня освітлення, щоб коригувати інтенсивність світла в реальному часі.

Висновки. Інтеграція розрахунків PARtarget у систему керування забезпечує точне регулювання освітлення за допомогою програмованого контролера впродовж доби. Використання LED-ламп із високою енергоефективністю (ηLED > 0.8) дозволяє знизити енергоспоживання без погіршення росту та розвитку рослин.

При такому підході освітлення подається у мінімально необхідній кількості, світло адаптоване до потреб рослин у певній фазі розвитку, а також завдяки використанню датчиків і контролерів знижується потреба в ручному втручанні.

Література

1. Elkins C., van Iersel M.W. (2020), Longer photoperiods with the same daily light integral increase daily electron transport through photosystem II in lettuce, Plants, 9(9), Article 1172. DOI: 10.3390/plants9091172.

2. Gillani S.A., Abbasi R., Martinez P., Ahmad R. (2022), Review on energy efficient artificial illumination in aquaponics, Cleaner and Circular Bioeconomy, Vol. 2, Article 100015. DOI: 10.1016/j.clcb.2022.100015

Методи ситуаційного аналізу в задачах керування виробничими процесами

Василь Кишенько, Дмитро Паньков, Ігор Андріюк
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Процеси брагоректифікації на спиртових заводах відносяться до складних об'єктів керування. Для таких об'єктів є специфічною мінлива поведінка, яка визвана нелінійністю характеристик, невизначеністю та конфліктністю процесів. Така особливість процесів брагоректифікації для ефективного керування ними вимагає застосування оперативного аналізу ситуаційної обстановки методами інформаційних технологій.

Матеріали і методи Для проведення ситуаційного аналізу застосовані сучасні методи комп'ютерних систем керування.

Результати і обговорення. На основі даних моніторингу здійснюється комп'ютерний аналіз обстановки, що склалася на . об'єкті керування Інтелектуальні системи комп'ютерного аналізу даних (ситуацій) можуть базуватись на двох підходах. Перший полягає в тому, що в системі фіксується досвід експерта, який і використовується для оцінки створеної ситуації. На цьому підході формується побудова експертних систем. Другий підхід базується на аналізі історичних даних, що описують поведінку досліджуваного об'єкта, визначеною у минулому. Методи аналізу ситуації сильно залежать від прикладної області, але в даному випадку можливо запропонувати методи PEST, SWOT. PEST - це інструмент, призначений для виявлення політичних, економічних, соціальних і технологічних аспектів зовнішнього середовища, які можуть впливати на функціонування підприємств. Він концентрує увагу на зовнішніх макроекономічних факторах (абревіатура від термінів Political, Economical, Social, Technological). Політика характеризує отримання ресурсів для діяльності підприємства. Економіка визначає ринкові та фінансові умови діяльності заводу. Соціальна складова визначає споживчий попит у його різних аспектах.. Основним фактором є технологічна компонента. Метою її досліджень є виявлення тенденцій у технологічному розвитку.. Підхід, що аналізує як зовнішні чинники, так і внутрішній стан підприємства, отримав англійську абревіатуру SWOT (Strengths, Weakness, Opportunities, Threats – сили, слабкості, можливості, загрози). Сили та слабкості вважаються характеристиками внутрішнього стану підприємства, а можливості та загрози – зовнішнього середовища. SWOT-аналіз часто сприймається як формальна методика розробки маркетингової стратегії.

Висновки. Запропоновані методи аналізу дозволяють оцінити аспекти ситуаційної поведінки об'єкта керування на всіх ієрархічних рівнях керування, що значно поліпшить ефективність діяльності підприємства.

Література

Ladanyuk A., Kyshenko V., Smityuh Y. The biotech complexes control in conditions of situational uncertainty. Annals of Warsaw University of Life Sciences. 2012. No. 60. P. 149–154.

IoT-шар для SCADA/PLC біогазового комплексу

Максим Кривченко, Володимир Дружинін
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. У роботі обґрунтовано архітектуру IoT-шару для підвищення оперативності виявлення технологічних відхилень у біогазовому комплексі без втручання в критичний контур PLC. Підхід орієнтований на безперервний моніторинг, тривоги та підтримку операторських рішень у зв'язці зі SCADA/PLC.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є взаємодія польових датчиків, SCADA/PLC та IoT-рівня біогазового комплексу. Проаналізовано параметри раннього виявлення нестабільності: температуру, pH, тиск, витрату біогазу, вміст CH_4/CO_2 та H_2S. Запропоновано архітектуру збору телеметрії через PLC або локальний шлюз із передачею за MQTT/HTTPS, збереженням часових рядів і поверненням агрегованих індикаторів у SCADA через OPC UA або Modbus TCP. Для аналітичного рівня передбачено порогові, трендові та подієві правила, а також короткостроковий прогноз на основі лагових ознак.

Результати. У результаті дослідження сформовано архітектуру IoT-шару, у якій PLC зберігає функції критичного технологічного керування, а IoT-рівень реалізує моніторинг, накопичення історичних даних, журналювання подій, виявлення аномалій і попередження оператора. Основними функціональними результатами підходу є: узгоджений архів часових рядів ключових параметрів із прив'язкою до режимів роботи; журнал подій, що пов'язує зміни телеметрії з діями обладнання і переходами технологічного процесу; агреговані індикатори для SCADA або аналітичних панелей, зокрема попереджувальні стани щодо зсуву pH, зниження частки CH_4, зростання H_2S та нестабільності тиску чи витрати біогазу. Обґрунтовано, що така побудова дає змогу виявляти ранні ознаки погіршення процесу до переходу в явно неефективний режим. Це узгоджується з даними досліджень, за якими системи раннього виявлення для анаеробного зброджування можуть забезпечувати випереджувальний час 3-7 діб, а VFA/алкалінність-похідні індикатори раннього попередження – зростати у 2-3 рази за кілька діб до відмови і в 10-30 разів на момент відмови. Практична придатність архітектури визначається повнотою первинної телеметрії, наявністю режимних тегів SCADA, синхронізацією часових міток, буферизацією даних і дотриманням вимог OT-кібербезпеки.

Висновки. Запропоновано практично придатний IoT-шар над SCADA/PLC біогазового комплексу, що підвищує прозорість процесу та скорочує інтервал між появою відхилення і його фіксацією. Цінність роботи полягає в поєднанні телеметрії, подій SCADA та аналітичних правил без зміни логіки критичного керування.

Література

1. Wu D., Li L., Peng Y., Yang P., Peng X., Sun Y., Wang X. State indicators of anaerobic digestion: A critical review on process monitoring and diagnosis, стаття. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. URL: https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111260.
2. Marycz M., Turowska I., Glazik S., Jasiński P. Artificial Intelligence in Anaerobic Digestion: A Review of Sensors, Modeling Approaches, and Optimization Strategies, стаття. Sensors. 2025. URL: https://doi.org/10.3390/s25226961.
Freitas L., Silva M. та ін. OPC UA and MQTT performance analysis within a unified namespace context. URL: https://doi.org/10.1016/j.iot.2025.101734.

Ієрархічно-розподілена інтелектуальна система керування Smart Microgrid зернового елеватора для мінімізації пікової потужності

Володимир Левицький, Олег Клименко

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Актуальною є задача мінімізації пікової потужності зернових елеваторів як енергоємних об'єктів із нерівномірним багатокомпонентним навантаженням. Метою дослідження є розроблення ієрархічно розподіленої моделі керування Smart Microgrid елеватора з інтеграцією інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) для адаптивного обмеження пікових навантажень без втручання у технологічні сценарії роботи.

Матеріали і методи. При дослідженні режимів електроспоживання типового зернового елеватора використано метод декомпозиції на чотири групи навантаження (потоково-транспортні системи, сушарки, аерація, допоміжне обладнання) та гібридну енергетичну підсистему (мережа, фотоелектрична станція (PV), дизель-генератор (DG), накопичувач енергії (BESS)). Архітектуру Smart Microgrid сформовано методами структурно-функціональної декомпозиції, баланс потужності формалізовано методами математичного моделювання з урахуванням динаміки споживання та генерації. Алгоритм адаптивної координації контурів керування розроблено на основі нечіткого логічного висновку Мамдані з експертною параметризацією.

Результати та обговорення. Запропоновано ієрархічну архітектуру керування з розмежуванням локального (PLC/VFD, мс), оперативного (EMS, с) та стратегічного (ІСППР, хв) рівнів. Задача керування мікромережею формалізована як мінімізація максимального значення споживаної з мережі потужності $\min\left(\max_{t\in T} P_{grid}(t)\right)$ з урахуванням умови м'якого обмеження

$$P_{grid}(t) \le P_{target} + \varepsilon(t),$$

де $\varepsilon(t)$ — допустиме короткочасне перевищення, що враховує динаміку пусків. Споживана з мережі потужність розраховується за рівнянням енергетичного балансу:

$$P_{grid}(t) = P_{load}(t) - P_{PV}(t) - P_{BESS}(t) - P_{DG}(t),$$

де $P_{BESS}(t) > 0$ відповідає режиму розряду накопичувача для підтримки навантаження, тоді як $P_{BESS}(t) < 0$ -режиму заряду.

Алгоритмічну основу ІСППР становить модуль нечіткого висновку Мамдані (повна база містить 27–36 правил), що визначає рівень ризику пікового навантаження (Low, Medium, High, Critical).

Як вхідні змінні використано:

- запас потужності $\Delta P(t) = P_{target} - P_{grid}(t)$,
- стан заряду накопичувача (SOC: Low — 0–30%, Medium — 25–75%, High — 70–100%)
- прогноз генерації фотоелектричної станції ($PV_{forecast}(t)$.

Для $\Delta P(t)$ задано терм-множину {Negative, Small, Medium, Large}, де для Negative функція належності є Z-подібною, Small/Medium – трапецієподібними, а Large - S-подібною. Фрагмент бази знань наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

№	ΔP (Margin)	SOC (Battery)	PVforecast	Risk Level (R)	Пояснення стратегії
1	Negative	Low	Any	Critical	Перевантаження, батарея пуста.

					Критичний режим керування. Необхідне втручання.
2	Negative	Medium	Low	High	Перевантаження, батарея має заряд, але сонця немає. Розряд BESS.
3	Negative	High	Any	High	Перевантаження, але батарея повна. BESS компенсує пік.
4	Small	Low	Low	High	Близько до ліміту, ресурсів немає. Обмеження пусків.
5	Small	High	High	Low	Близько до ліміту, але ресурсів вдосталь. Штатний режим.
6	Large	Low	High	Medium	Запас є, батарея пуста, але буде сонце. Заряд дозволено з урахуванням прогнозу PV.

Після дефазифікації за методом центроїда отримується чітке значення ризику, яке використовується для параметричної адаптації вектора керування

$$\Theta = \{P_{target}, SOC_{min}, Priority(L_i), DG_{threshold}\}$$

Запропонований підхід діє проактивно: оцінюючи тренди вхідних змінних, система реагує на тенденцію наближення до перевантаження, що дозволяє уникнути коливальних режимів «включення–відключення» за рахунок параметричного регулювання без зміни жорстких алгоритмів безпеки обладнання.

Висновки. Запропоновано підхід до переходу від реактивної порогової логіки до проактивного ієрархічного керування мікромережею на основі нечіткого висновку Мамдані. Підхід забезпечує узгодження енергетичних і технологічних контурів керування. Розроблена модель може бути використана як основа для побудови цифрових систем енергоменеджменту з адаптивною логікою керування.

Node-RED: використання у сучасних автоматизованих системах та виробництвах

Ляховецький Кирило, Смітюх Ярослав
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Тема. Використання платформи Node-RED у сучасних автоматизованих системах керування, моніторингу та виробничих процесах.

Мета. Розглянути призначення Node-RED, його основні можливості та пояснити, чому цей інструмент є корисним для автоматизації на підприємствах.

Вступ. У сучасному виробництві важливу роль відіграють автоматизовані системи, які дають змогу швидше отримувати дані, контролювати обладнання та зменшувати вплив людського фактора. Одним із зручних інструментів для таких задач є Node-RED. Це середовище візуального програмування, у якому логіка роботи створюється за допомогою блоків та зв'язків між ними. Node-RED був створений для швидкого поєднання різних пристроїв, сервісів і програм. Його головна перевага полягає в тому, що користувач може будувати алгоритм не лише через написання коду, а й через зрозумілу схему потоків. У промисловості це зручно для збору показників із датчиків, передачі даних у базу, відображення інформації на панелі оператора або надсилання повідомлень про аварійні ситуації.

Матеріали і методи. Для роботи з Node-RED використовують вузли, які відповідають за приймання, обробку та передачу інформації. Наприклад, одні вузли можуть зчитувати дані з контролера або датчика, інші — виконувати обчислення, а ще інші — показувати результат на веб-сторінці. Такий підхід дозволяє швидко змінювати систему без повного переписування програми.

Результати. У сучасних автоматизованих системах Node-RED може застосовуватися у кількох основних напрямах:

1. **Моніторинг обладнання.** Система може збирати дані про температуру, рівень, тиск, стан двигунів або клапанів та передавати їх оператору в зручному вигляді.
2. **Інтеграція пристроїв.** Node-RED допомагає поєднувати PLC, датчики, бази даних, хмарні сервіси та повідомлення в один спільний процес.
3. **Оперативне реагування.** При перевищенні заданих параметрів можна автоматично сформувати попередження, записати подію або виконати потрібну дію.

Висновки. Node-RED є простим і практичним інструментом для створення сучасних автоматизованих рішень. Він підходить для навчальних робіт, лабораторних стендів і реальних виробничих задач, оскільки дозволяє швидко налаштовувати обмін даними між обладнанням та інформаційними системами. На мою думку, його використання допомагає краще зрозуміти принципи автоматизації та робить керування виробництвом більш гнучким і наочним.

Література:

1. Node-RED Unleashed: Transforming Industrial IoT — стаття OpenJS Foundation, 2024 р.
https://openjsf.org/blog/node-red-unleashed
2. Node-RED for PLC Automation — наукова публікація про використання Node-RED з PLC Siemens S7-300, 2024 р.
https://www.researchgate.net/publication/377439128_Node-RED_for_PLC_Automation

Швидкодіюче регулювання температури в камерних конвективних сушарках

Володимир Мельник, Ярослав Смітюх
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Метою дослідження є реалізація швидкодіючого регулювання температури в камері конвективної сушарки із виходом температури на уставку за мінімальний час та одночасним забезпеченням високої якості регулювання.

Методи досліджень. Проводилися експериментальні сушіння в камерній конвективній сушарці із мультисенсорною системою вимірювань для збору інформації про технологічний процес в MySQL-сумісну базу даних MariaDB. Навчання нейромереж проводилось в середовищі MATLAB. Програмна реалізація системи швидкого регулювання температури виконана на основі виконавчого модуля CODESYS, який працює на одноплатному комп'ютері Raspberry Pi 5.

Результати і обговорення. Для вирішення поставленої задачі поєднано два режими керування температурою: режим швидкої зміни температури (нагрів або охолодження) та режим ПІД-регулювання. Для реалізації безударного перемикання між режимами використовуються дві нейромережі: одна для визначення моменту перемикання між режимами, інша для ініціалізації ПІД-регулятора. Нейромережі навчені і працюють на основі мультисенсорних вимірювань параметрів процесу сушіння від датчиків: температури зовнішнього повітря, температури та відносної вологості повітря в сушильній камері, маси завантаженої сировини, даних про споживання електроенергії з лічильника.

У першому режимі здійснюється швидка зміна температури в необхідному напрямку шляхом або подачі максимальної потужності на електричний нагрівач, або повного його вимкнення. Система керування в реальному часі здійснює вимірювання параметрів процесу сушіння, які подаються на входи попередньо навчених нейромереж. Перша нейромережа визначає момент перемикання з режиму швидкої зміни температури на режим ПІД-регулювання температури з метою уникнення перерегулювання. Після досягнення визначеного нейромережею моменту перемикання система переходить на режим ПІД-регулювання, у якому регулятор забезпечує стабілізацію температури сушіння на заданому рівні. Друга нейромережа визначає ініціалізацію ПІД-регулятора у момент перемикання режимів керування для задання керуючого впливу, максимально наближеного до необхідної потужності нагрівання для підтримання заданої температури в камері сушарки. Настроювання ПІД-регулятора при цьому є усередненими для всіх технологічних стадій процесу, оскільки регулятор починає роботу відразу в околі заданої уставки температури із значенням виходу, максимально близьким до значення, необхідного для її утримання. Таке поєднання методів і механізмів керування дозволяє інтенсифікувати процес сушіння за рахунок швидкого досягнення заданої температури та можливості роботи поблизу максимально допустимих значень температури завдяки мінімізації можливого перерегулювання та коливань температури після перемикання режимів.

Висновок. Реалізовано швидкодіючу систему регулювання температури в камері конвективної сушарки, що поєднує режим швидкої зміни температури та режим ПІД-регулювання із безударним перемиканням між ними на основі нейромережевого визначення параметрів перемикання. Комплексування методів керування дозволило підвищити швидкість переходу між технологічними режимами сушіння при забезпеченні високої якості регулювання.

Вразливості PLC/HMI та еволюція кіберзагроз на першому рівні моделі Purdue

Михалюк Андрій, Міркевич Роман
Національний університет харчових технологій, Україна

Вступ. Інтернет речей у промисловості та інтеграція IT та OT систем кардинально змінюють вимір ризиків промислової системи управління. Перший рівень моделі Purdue, де ПЛК, RTU та пов'язані з ними компоненти системи HMI/SCADA спілкуються зі фізичним процесом, э найбільш вразливим рівнем.

Матеріали та методи. У роботі здійснено аналіз архітектури Purdue, типові вразливості ПЛК і HMI, атаки на рівень базового керування, а також методи виявлення інцидентів.

Результати та обговорення. Визначено, що критичні фактори ризику включають перевірку цілісності логіки програми ПЛК перед завантаженням, можливість зміни прошивки без перевірки цілісності за допомогою криптографічного захисту, вразливість промислових стеків протоколів, а також застосування незахищених каналів віддаленого доступу до HMI. Додатково існує ризик глибокого горизонтального розповсюдження між контролерами через суміжні мережеві інтерфейси. Нові види загроз, що виникають, перетворюються із простих видів DoS-атак на складні види, що застосовують легітимні інструментарії адміністрування мереж та спеціалізоване шкідливе програмне забезпечення. У той же час, засоби виявлення, що аналізують мережевий трафік, можуть не виявляти зміни значень регістрів та логіки контролера. Невипадково, найбільш перспективним рішенням на сьогодні вважається поєднання мережевого трафіку та аналіз параметрів процесу. Математичні інструментарії що застосовують для виявлення особливостей зміни значення промислового процесу, використовують статистичні методи оцінки відмінностей розподілу ймовірностей. p відрізняється від іншого розподілу q. Формула дивергенції KL для безперервних розподілів має вигляд:

$$D_{KL}(p||q) = 0 \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log\left(\frac{p(x)}{q(x)}\right) dx$$

У контексті кібербезпеки *p(x)* представляє поточний стан параметрів системи (наприклад, тиск або температура), а *q(x)* – базову модель нормального функціонування. Значення $D_{KL}(p||q) = 0$ вказує на ідентичність розподілів, тоді як зростання цього показника сигналізує про потенційну атаку або збій.

Висновки. Перший рівень моделі Purdue є критичною зоною кіберризику, в якій компрометування системи ПЛК/HMI призводить не лише до втрати контролю над процесом, а й до виникнення фізичних аварій. Для забезпечення підвищеної стійкості промислових систем слід застосовувати багаторівневі стратегії захисту, які забезпечують сегментацію та мікросегментацію мереж, захист цілісності логіки та мікропрограмного забезпечення, безпечний віддалений доступ, мережеві та процесні дані, а також принцип нульової довіри.

Література:

1. Aslam M. M. та ін. Industrial Control Systems Security: A Review of Cyberattacks and Countermeasures. IEEE Access. 2024. https://ieeexplore.ieee.org/iel7/6287639/10380310/10510298.pdf

Архітектура інтелектуального агента підтримки прийняття рішень оператора в системах керування технологічними процесами

Володимир Полупан
Національний університет харчових технологій

Вступ. Сучасні системи диспетчеризації (SCADA) забезпечують моніторинг і сигналізацію станів технологічних процесів, однак їх функціональність обмежується пороговими сповіщеннями без урахування контексту процесу та причинно-наслідкових зв'язків. Це ускладнює роботу оператора в умовах складних або нештатних ситуацій. Актуальним є розроблення інтелектуальних підсистем підтримки прийняття рішень, здатних аналізувати стан процесу та формувати рекомендації. Метою роботи є розробка архітектури агентної підсистеми підтримки оператора з використанням великих мовних моделей (LLM).

Матеріали та методи. Дослідження виконано на основі імітаційної моделі технологічного процесу приготування та підігріву продукту, реалізованої в середовищі PLC–SCADA. Як інтеграційне середовище використано Node-RED. Запропоновано гібридний підхід, що поєднує rule-based аналіз, обробку часових рядів та LLM для інтерпретації та генерації рекомендацій. Архітектура агента поділена на функціональні шари: збір даних, формування контексту, виділення ознак, діагностика, LLM-аналіз та фільтрація рішень.

Результати та обговорення. Запропоновано багаторівневу архітектуру агента-порадника оператора, що реалізується в Node-RED і включає:

Рівень збору даних (Data Acquisition Layer) – отримання технологічних параметрів з PLC/SCADA (аналогові, дискретні, службові теги).

Рівень формування контексту (Context Layer) – визначення етапу процесу, режиму роботи та очікуваної поведінки системи.

Рівень виділення ознак (Feature Extraction) – обчислення динамічних характеристик (швидкість зміни температури, рівня, затримки реакції).

Діагностичний модуль (Diagnostic Engine) – формування гіпотез щодо стану об'єкта на основі правил і евристик.

LLM-модуль (Advisory Layer) – генерація пояснень та рекомендацій оператору на основі структурованого стану системи.

Рівень безпеки (Safety Layer) – перевірка коректності та допустимості рекомендацій.

Інтерфейс представлення (Presentation Layer) – передача результатів у SCADA або операторський інтерфейс.

На відміну від традиційної сигналізації, агент виконує інтеграцію даних, аналіз динаміки процесу та формує причинно-наслідкові висновки. Наприклад, замість сигналу "низький рівень" система ідентифікує ситуацію "ймовірно не відкрився клапан" і пропонує конкретні дії оператору..

Висновок. Розроблена архітектура забезпечує перехід від реактивної сигналізації до інтелектуальної підтримки прийняття рішень. Використання Node-RED як інтеграційної платформи дозволяє реалізувати агент без втручання в PLC-логіку, а застосування LLM – забезпечує інтерпретацію стану процесу та генерацію рекомендацій. Запропонований підхід може бути використаний як основа для побудови агентних систем у АСКТП та подальшого впровадження адаптивних і самонавчальних алгоритмів.

Машина логічного виводу системи підтримки та прийняття рішень прецедентного підходу технологічного комплексу 2-ї сатурації цукрового заводу

Євген Проскурка
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Для функціонування системи підтримки та прийняття рішень прецедентного підходу технологічного комплексу 2-ї сатурації цукрового заводу необхідно створити машину логічного виводу. Машина логічного виводу функціонуватиме на основі експертної системи, що розроблятиметься за допомогою мови програмування експертних систем CLIPS.

Матеріали і методи. Для машини логічного виводу, що функціонуватиме на основі експертної системи, необхідно розробити правила продукційного типу. Правила для машини логічного виду розроблятимуться на основі бази знань предметної області технологічного комплексу 2-ї сатурації цукрового заводу, що була створена на основі онтології в програмному середовищі Protégé [1].

Результати. Використовуючи плагін CLIPS в програмному середовищі Protégé можливо перевести класи створеної онтології на мову програмування експертних систем CLIPS. На рис. 1 представлено опис класу *Low-Saturation* на мові програмування експертних систем CLIPS.

```
(defclass Low-Saturation
    (is-a Process)
    (role concrete)
    (multislot Temperature
        (type FLOAT)
        (default 80.0 89.9))
    (multislot Flow
        (type FLOAT)
        (default 150.1 200.0))
    (multislot Quality-Gas
        (type FLOAT)
        (default 20.0 29.9))
    (multislot Pressure
        (type FLOAT)
        (default 40.0 44.9))
    (multislot pH
        (type FLOAT)
        (default 9.91 11.0)))
```

Рис. 1. Представлення опису класу Low-Saturation.

Висновки. Створення машини логічного виводу на основі експертної системи дозволить системі підтримки та прийняття рішень прецедентного підходу оптимально управляти технологічним комплексом 2-ї сатурації цукрового заводу спираючись на прецеденти, що були знайдені в часових рядах технологічних змінних за допомогою топологічного аналізу.

Література

1. Проскурка Є.С. (2025) Онтологія предметної області технологічного комплексу 2-ї сатурації для системи підтримки та прийняття рішень прецедентного підходу, *Матеріали XII Міжнародної науково-технічної Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами»*, НУХТ, С. 171.

Розробка прототипу системи збору та аналізу Big Data з промислового обладнання з використанням Node-RED

Юлія Самойленко
Національний університет харчових технологій
Дмитро Данечкін, Оксана Козодой
Володимирецький ліцей «Колегіум»

Вступ. Сформовано задачу розробки прототипу системи збору та аналізу технологічних даних промислового процесу з використанням IIoT-технологій. Актуальність зумовлена необхідністю оперативного контролю параметрів технологічного процесу в режимі реального часу.

Матеріали та методи. Досліджувались параметри дифузійного процесу (температура, рівні, вміст сухих речовин), отримані з емулятора PLC Modicon M340. Використано протокол Modbus TCP/IP для передачі даних до Node-RED. Обробка здійснювалась у Node-RED (фільтрація, масштабування), з подальшим записом у MySQL та InfluxDB. Для часових рядів застосовано InfluxDB Line Protocol через HTTP-запити. Візуалізація виконана у Node-RED Dashboard у режимі реального часу.

Результати і обговорення. Потік розробленої системи збору та аналізу Big Data показано на рис. 1. Аналіз архітектури системи показує, що Node-RED виконує роль проміжного шару між PLC (Modbus) та базами даних, забезпечуючи збір, первинну обробку, нормалізацію та маршрутизацію даних із перетворенням їх у структурований формат для подальшого збереження й аналізу..

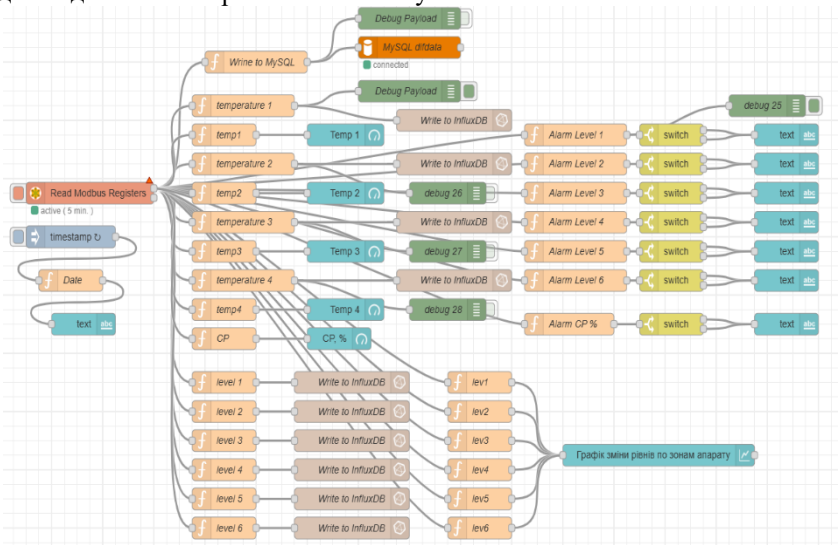


Рис. 1. Node-RED flow для прототипу системи збору та аналізу даних з промислового обладнання на основі Modbus TCP/IP

Виснокви. MySQL використовується як реляційне сховище для довготривалого зберігання структурованих історичних даних із подальшим застосуванням у звітності та аналітичній обробці, однак має обмежену ефективність при роботі з високочастотними потоками часових рядів. InfluxDB призначена для зберігання та обробки часових рядів, забезпечуючи високу продуктивність запису та виконання агрегатних запитів (min/max/mean) завдяки оптимізованій структурі даних, що робить її доцільною для оперативної аналітики технологічних процесів.

Підвищення ефективності виробничого процесів на основі використання роботизованих установок

Симчина Олександр, Смітюх Ярослав
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Роботизовані установки є важливою частиною багатьох виробництв. І поширене використання їх є завжди правильним рішенням для удосконалення роботи та якості продукції.

Матеріали та методи. У дослідженні використано методи аналізу та порівняння ефективності виробничих процесів при застосуванні роботизованих установок.

Результат. Сучасні виробничі процеси, будь яких напрямів, потребують максимальної точності та якості у виробництві. І саме для підтримання цих факторів використовують роботизовані установки. Їхнє використання у виробництві приносить величезну кількість переваг, які роблять їх незамінними для сучасних підприємств.

1. Підвищення продуктивності. Роботизовані установки забезпечують безперервну роботу 24/7 без перерв на відпочинок і виконують операції на високій швидкості (у 2-5 разів швидше за людину). Наприклад: на автомобільному заводі роботи зварюють кузов за 90 секунд, тоді як людині на це потрібно понад 5 хвилин.
2. Поліпшення якості продукції. Висока точність виконання операцій (±0.01 мм для мікроелектроніки) та стабільність дозволяють прибрати "людський фактор". Так на заводах Foxconn автоматизація знизила нестачу електроніки на 30%.
3. Економія витрат. Зниження трудових витрат відбувається за рахунок того, що один робот замінює 2-5 робітників (при тризмінній роботі понад 2-3 роботи). Зазвичай інвестиції у роботи окупаються за 1-3 роки.
4. Безпека праці. Роботи широко застосовують під час виконання небезпечних операцій: робота з токсичними речовинами, високі температури (лиття металів), важкі вантажі. Це зменшує травматизм з виробництва.
5. Гнучкість виробництва. Роботи можуть швидше за людину переналаштовуватися на нову продукцію. Програму для роботів можна писати заздалегідь і завантажувати в лічені секунди. Так, наприклад, компанія Adidas використовує роботизовані лінії для швидкої зміни моделей взуття.
6. Можливість інтеграції коїться з іншими системами. Роботи легко поєднуються з ERP, MES, SCADA системами для повного цифрового контролю.

Висновок. Використання роботизованих установок у виробничих процесах сприяє підвищенню продуктивності, якості продукції та безпеки праці. Їх впровадження дозволяє зменшити витрати, мінімізувати вплив людського фактора та забезпечити більш гнучке й ефективне виробництво.

Література

1.Промислові роботи: що це? Види та використання промислових роботів. https://abplanalp.ua/promyslovi-roboty-sho-ce-vydy-ta-vykorystannya-promyslovyh-robotiv#toc-header-0.120426

Застосування нечіткої логіки для зниження невизначеності в інтелектуальних автоматизованих системах при виробництві біопалива

Спашиба Владислав, Луцька Наталья
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У теперішній час зростання попиту на біопалива різного виду як альтернативу викопним ресурсам зумовлене сучасними тенденціями переходу до сталих енергетичних рішень. Однак складність ланцюгів постачання біомаси та нелінійність процесів її конверсії створюють значну невизначеність, що ускладнює ефективне моделювання та прийняття рішень. Традиційні бінарні логічні моделі часто виявляються недостатніми для обробки неточних та суб'єктивних даних, притаманних біоенергетичним технологіям.

Матеріали та методи. Для розв'язання проблем ідентифікації сталих детермінант та оптимізації параметрів виробництва пропонується системний підхід, що базується на інтеграції нечіткої логіки (Fuzzy Logic) з іншими методами моделювання. Дослідження охоплює аналіз термічних (піроліз, газифікація) та біохімічних (анаеробне зброджування) процесів з використанням багатокритеріального аналізу.

Результати та обговорення. Аналіз літературних джерел свідчить, що застосування нечітких моделей дозволяє ефективно імітувати людське мислення для управління складними змінними в умовах дефіциту точних даних. В межах інтелектуальних автоматизованих систем керування при виробництві біопалива доцільно впроваджувати наступні модулі:

1. Система багатокритеріального вибору (Fuzzy-MCDM): Дозволяє ранжувати технологічні маршрути отримання біопалива за сукупністю технічних, економічних та екологічних факторів, що критично важливо для розвитку галузі.
2. Адаптивний нечіткий регулятор: Використовується для підтримки оптимальних умов у реакторах (температурні профілі для гідролізу, pH для бродіння або молярне співвідношення спирту до олії для біодизеля), що дозволяє знизити енерговитрати та збільшити вихід продукції.
3. Модуль інетелектуального прогнозування (на основі ANFIS): Забезпечує високу точність передбачення виходу цільового продукту, будь то об'єм біогазу, вихід біодизеля чи концентрація біоетанолу, враховуючи варіативність складу біомаси.
4. Гібридні моделі (Neuro-Fuzzy): Поєднують здатність нейронних мереж до навчання на великих масивах даних із прозорістю логічного виведення, що допомагає виявляти аномалії в роботі обладнання та запобігати аварійним ситуаціям.

Обговорення результатів показує, що хоча методи нечіткої логіки ефективно справляються з нелінійністю та невизначеністю процесів, їхня продуктивність залежить від якості бази правил. Використання великих масивів експериментальних даних для автоматичного налаштування параметрів функцій належності є перспективним напрямом, який дозволяє перетворити «чорну скриньку» моделі на прозорий інструмент підтримки прийняття рішень для операторів біоенергетичних установок.

Висновки. Інтеграція нечіткої логіки в автоматизовані системи керування біоенергетичними процесами забезпечує вищу точність прогнозування та надійність рішень під час експлуатації. Такий підхід створює підґрунтя для розробки інтелектуальних автоматизованих систем моніторингу та керування, здатних адаптуватися до мінливості характеристик сировини, що є критичним для промислового впровадження ефективних біоенергетичних установок.

Особливості впровадження індустрії 4.0 до харчової галузі

Стороженко Анатолій, Романов Микола
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У учасна харчова промисловість переважно функціонує за принципами парадигми Індустрії 3.0, де домінують жорсткі конвеєрні лінії та централізовані монолітні системи автоматизації. Незважаючи на високу продуктивність у стабільних умовах, такі системи є вразливими до апаратних збоїв та не здатні забезпечити гнучкість, необхідну для швидкої зміни рецептур (Agile Manufacturing). Крім того, специфіка харчового виробництва вимагає суворого дотримання санітарно-гігієнічних норм (уникнення перехресного забруднення) та врахування фактору швидкопсування (perishability) сировини.

Матеріали та методи. Вирішення цих проблем лежить у площині Індустрії 4.0, яка передбачає впровадження кіберфізичних систем (CPS) та автономних мобільних роботів (AMR). У сучасній робототехніці децентралізоване управління роєм роботів (swarm robotics) набирає все більшої актуальності як ефективний інструмент для заміни класичних конвеєрів [1].

Результати та обговорення. На відміну від централізованих систем, де є єдиний центр керування, децентралізований підхід передбачає автономне прийняття рішень кожним агентом на основі локальної інформації та взаємодії з сусідами [2]. Для підприємств харчової галузі це відкриває нові можливості:

1. Динамічна маршрутизація з урахуванням гігієни: Автономні роботи здатні локально обмінюватися інформацією про свій статус. Якщо агент транспортує сировину підвищеного ризику (наприклад, сире м'ясо), інші агенти системи динамічно перебудовують свої маршрути, уникаючи "брудних слідів" та запобігаючи перехресному забрудненню готової продукції.

2. Пріоритезація на основі часу деградації: Децентралізовані алгоритми дозволяють інтегрувати в систему управління математичні моделі псування продуктів. Роботи самоорганізуються таким чином, щоб вантаж із найменшим залишковим строком придатності доставлявся до холодильних установок чи зон обробки першочергово [1].

3. Масштабованість та стійкість до відмов: Децентралізований підхід підвищує стійкість (robustness) до відмов обладнання. Якщо один мобільний робот виходить з ладу, рій продовжує роботу за рахунок надмірності (redundancy) та автоматичного перерозподілу завдань, на відміну від централізованих конвеєрів, де локальна поломка паралізує весь виробничий процес [2].

Висновки. Впровадження концепцій Індустрії 4.0 у харчову промисловість вимагає відмови від жорсткої автоматизації на користь децентралізованих багатоагентних систем. Такий підхід не лише забезпечує стійкість виробництва до непередбачуваних збоїв, але й дозволяє алгоритмічно вирішувати критичні проблеми галузі — мінімізацію ризиків перехресного забруднення та збереження якості швидкопсувної сировини під час внутрішньозаводської логістики.

Література

1. Bossens D.M., Ramchurn S., Tarapore D. (2022) Resilient Robot Teams: a Review Integrating Decentralised Control, Change-Detection, and Learning [online]. URL: https://d-nb.info/1264746636/34.
2. Gupta S., Surse G. (2025) Swarm Robotics: Architecture, Applications, and Future Prospects [online]. URL: https://www.irjet.net/archives/V12/i7/IRJET-V12I702.pdf.

Концепція відмовостійкої каскадної системи прогнозування якості сиропу на базі матеріальних балансів та NARX-моделей

Шевченко Родіон
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Для компенсації транспортного запізнення та оптимізації витрат пари випарним станціям необхідне точне прогнозування густини сиропу. Рекурентні нейромережі NARX ефективно вирішують цю задачу, але їх точність критично залежить від якості вхідних даних — насамперед густини соку на вході. Через складнощі прямого вимірювання (швидке утворення накипу, висока вартість густиномірів) на практиці застосовують віртуальні аналізатори. Вони утворюють каскадну архітектуру, де аналітична модель розраховує вхідні дані для предиктивної нейромережі.

Однак такі системи вкрай схильні до поширення помилки: відмова, дрейф нуля чи розкалібрування первинного датчика різко знижує точність фінального прогнозу. Метою роботи є розробка концепції підвищення відмовостійкості такої гібридної моделі шляхом впровадження механізмів крос-валідації та аналітичної надмірності.

Матеріали та методи. Аналітика технологічних даних, математичне моделювання на основі рівнянь матеріального балансу та рекурентних нейромереж (NARX), статистичний аналіз.

Результати та обговорення. Віртуальні датчики на базі рекурентних нейромереж, як зазначено у [1], підвищують надійність промислових вимірювань. Інтеграція цього підходу у запропоновану каскадну систему поєднує аналітичні розрахунки матеріального балансу та предиктивні NARX-моделі. Це знижує ризики хибних рішень в умовах відмови фізичних густиномірів, оскільки враховується ймовірна деградація первинних приладів.

Такий підхід зменшує втрати енергоносіїв у процесах, де дрейф показників складно виявити класичними методами АСУТП. Застосування методів виявлення аномалій та локалізації відмов, основи яких висвітлено в [2], за рахунок алгоритмічного узгодження даних та ізоляції пошкоджених сигналів дозволяє ефективно підтримувати відмовостійкість системи.

Висновки. Використання відмовостійких каскадних системи дозволяє компенсувати апаратні недоліки, що сприяє зниженню енерговитрат на випарювання та підвищенню стабільності якості сиропу. Застосування NARX-моделей та механізмів крос-валідації дає змогу оптимізувати діагностику обладнання та адаптувати управління до змін без зупинки процесу виробництва.

Література.

1. Kopec, W., Kruk, M. and Szewczyk, R. (2025). Robustness Analysis of a Fast Virtual Temperature Sensor Using a Recurrent Neural Network Model Sensitivity. Sensors, 25(23), 7193. doi: https://doi.org/10.3390/s25237193 [електронний ресурс]
2. Ji, C. and Sun, W. (2022). A Review on Data-Driven Process Monitoring Methods: Characterization and Mining of Industrial Data. Processes, 10(2), 335. doi: https://doi.org/10.3390/pr10020335 [електронний ресурс]

Комплексна система енергоменеджменту промислових парових котлів на базі IIoT

Павло Ющук, Віктор Сідлецький
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Глобальна парадигма переходу до вуглецево-нейтральної економіки та безперервне зростання вартості первинних енергоносіїв ставлять перед промисловістю безпрецедентні виклики щодо оптимізації енергоємних процесів.

Матеріали і методи. Матеріалом для досліджень стали промислові парові котли, які є фундаментальною ланкою генерації теплової енергії в хімічній, нафтопереробній, харчовій та текстильній галузях, споживають значну частку викопного палива.

Результати і обговорення. Зосередження виключно на технологічних аспектах роботи котла (операційні технології - OT) без їх прив'язки до бізнес-метрик не забезпечує стійких фінансових результатів. Паровий котел має розглядатися як інтегральна частина загальної системи енергоменеджменту підприємства (EMS), що вимагає впровадження стандартизованих процесів. Міжнародний стандарт ISO 50001 базується на циклі безперервного вдосконалення Демінга-Шухарта (Plan-Do-Check-Act, PDCA) і вимагає постійного підвищення енергетичної результативності на основі підтверджених об'єктивних даних. Відповідно до вимог стандартів ISO 50001 та ISO 50006, підприємство зобов'язане встановити Енергетичну базову лінію (Energy Baseline - EnB), яка слугує кількісним еталоном для оцінки майбутніх результатів. Впровадження IIoT у поєднанні зі сценарним підходом дозволяє генерувати динамічну, адаптивну базову лінію для кожного експлуатаційного кластера.

Результати дефазифікації з рівня нечіткої логіки математично перетворюються на Показники енергетичної результативності (Energy Performance Indicators - EnPI). Завдяки IIoT-протоколам (таким як MQTT або OPC UA) ці показники передаються до корпоративної ERP-системи, трансформуючи технічні дані (тиск, температура) у критичні для менеджменту бізнес-метрики: вартість вироблення однієї тонни пари, грошовий еквівалент теплових втрат та обсяги додаткових емісій парникових газів.

Метод CUSUM візуалізує накопичену з часом різницю між теоретично очікуваним (за базовою лінією) та фактичним споживанням енергії. Горизонтальний тренд графіка CUSUM свідчить про дотримання нормативів, тоді як зміна кута нахилу сигналізує про виникнення стійких змін у поведінці обладнання. Інтеграція нечіткої логіки у побудову карт CUSUM вирішує одну з найскладніших проблем моніторингу: виключення хибних сигналів. Нечіткий фільтр автоматично ідентифікує транзієнтні відхилення (наприклад, санкціонований технологічний пуск) як норму для даного сценарію і не додає цю «перевитрату» до кумулятивної суми помилок. Водночас, якщо в номінальному сценарії графік CUSUM починає демонструвати стійкий позитивний нахил, система автоматично генерує сповіщення для служби предиктивного технічного обслуговування (Predictive Maintenance) про ймовірне забруднення теплообмінних поверхонь або збій налаштувань пальників.

Висновки. Архітектура IIoT гарантує автоматизований, безперервний і прозорий збір даних, що безпосередньо задовольняє вимоги етапу «Check» (Перевірка) у методології PDCA стандарту ISO 50001. Це дозволяє підприємствам генерувати автоматичні аудиторські звіти, відстежувати декарбонізаційні цілі (Scope 1 та Scope 2 емісії) та забезпечувати доказову базу для отримання сертифікатів відповідності, що позитивно впливає на ESG-рейтинги та інвестиційну привабливість компанії.

Типова архітектура побудови цифрових двійників в автоматизованому виробництві при керуванні очисними спорудами

Олександр Янов, Олег Клименко
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. В концепції Індустрії 4.0 кожен актив повинен мати цифрову копію. Різноманітність виробничих процесів та технологічних екосистем зумовлює науково-практичну проблему розробки типової архітектури для поетапного впровадження цифрових двійників в автоматизованому виробництві [1, 2].

Матеріали і методи. Проаналізовано наукові публікації з інтеграції цифрових двійників у виробництво, існуючі архітектурні підходи та промислові платформи (AWS IoT Core, Azure IoT Hub, Siemens MindSphere). Визначено ключові фактори, що впливають на побудову цифрового двійника: обсяг і деталізація (від одного активу до цілого заводу), джерела даних та інтеграція (IoT-пристрої, PLC/SCADA, гібридні рішення), техніки моделювання (фізичні моделі, машинне навчання, гібридні підходи), технологічний стек та цільове призначення системи.

Результати. На основі проведеного аналізу сформульовано п’ять принципів побудови типової архітектури системи з використанням цифрових двійників: модульність (кожен рівень додає нові компоненти без перебудови основи), відкритість (можливість початку з безкоштовних інструментів із подальшим переходом до комерційних), масштабованість (поступове розширення від одного активу до цілого заводу), простота старту (зниження початкових витрат та залежності від зовнішніх сервісів) та поступове забезпечення безпеки (від базового шифрування HTTPS до повних рішень з TLS та OAuth).

На основі зазначених принципів запропоновано п’ятирівневу архітектуру. Фізичний рівень (Physical Layer) охоплює реальні об’єкти, датчики для збору даних та виконавчі механізми для коригування на основі цифрових сигналів. Рівень прийому даних (Data Ingestion Layer) забезпечує збирання, передачу та первинну обробку через протоколи MQTT, OPC UA та граничні обчислення для зменшення затримки. Рівень збереження та обробки даних (Data Management Layer) використовує бази часових рядів (InfluxDB), реляційні БД (PostgreSQL) та хмарні сховища (AWS S3) з очищенням і агрегацією [3]. Рівень моделювання та імітації (Modeling and Simulation Layer) створює віртуальну копію із 3D-моделями, фізичними симуляціями (MATLAB/Simulink) та алгоритмами штучного інтелекту для прогнозної аналітики та виявлення аномалій. Аналітичний та прикладний рівень (Analytics and Application Layer) забезпечує моніторинг у реальному часі, прогнозне обслуговування та оптимізацію процесів, надсилаючи керуючі сигнали фізичному об’єкту.

Фізичний рівень та рівень прийому даних розташовуються безпосередньо на виробництві для мінімізації трафіку шляхом фільтрації та трансформації даних. Інші три рівні знаходяться у хмарі, що забезпечує гнучкість, масштабованість, швидке розгортання та економію витрат за моделлю «pay-as-you-go».

Висновки. Запропонована багаторівнева архітектура дозволяє розпочинати впровадження з базового функціоналу окремого активу та поступово масштабувати систему до рівня цілого підприємства. Розмежування на рівні забезпечує гнучкість кожного компоненту та здатність розширюватися без радикальних змін.

Література

1. Schleich B., Anwer N., Mathieu L., Wartzack S. (2017), Shaping the digital twin for design and production engineering, *CIRP Annals*, 66(1), pp. 141–144.
2. Wagner R., Schleich B., Haefner B. et al. (2019), Challenges and potentials of digital twins and Industry 4.0, *Procedia CIRP*, 84, pp. 88–93.
3. Hu L., Nguyen N.T., Tao W. et al. (2018), Modeling of cloud-based digital twins for smart manufacturing with MT Connect, *Procedia Manufacturing*, 26, pp. 1193–1203.

Аналіз наявних методів оцінки швидкості виділення вуглекислого газу із сиру під час його дозрівання та можливий шлях вдосконалення цих методів

Дмитро Авдєєв

Одеський національний технологічний університет

Вступ. Вуглекислий газ (CO_2) є одним із ключових продуктів життєдіяльності мікроорганізмів у сирі під час дозрівання. Його утворення впливає на формування рисунка, консистенцію та якість готового продукту. Контроль швидкості його виділення дозволяє оптимізувати мікрокліматичні умови у камері дозрівання. Однак наявні методи оцінки часто є складними, інвазивними (здійснюють пряме втручання у структуру продукту) або не враховують реальних умов перебігу процесу.

Матеріали та методи. Огляд наукових публікацій щодо наявних методів оцінки швидкості виділення вуглекислого газу із сиру під час його дозрівання.

Результати та обговорення. Існує декілька підходів до вимірювання швидкості виділення вуглекислого газу із сиру. Зокрема застосовується метод із використанням інфрачервоної (ІЧ) спектроскопії, реалізований у вигляді автоматизованої установки, де подрібнений зразок сиру знаходиться у герметичній камері. Газ безперервно циркулює в замкненому контурі, проходячи через ІЧ-сенсор, який вимірює накопичення CO_2 з високою роздільною здатністю (0,001%). Після досягнення порогової концентрації система автоматично відкривається і продувається азотом для видалення кисню та CO_2, після чого цикл повторюється. Коефіцієнт варіації методу становить 6,6–8,4%. Недоліками є складність обладнання, необхідність подрібнення зразка, що порушує його цілісність, та високі вимоги до герметизації системи.

Інший підхід базується на газохроматографічному аналізі, що передбачає герметизацію зразка в спеціальній камері та періодичний відбір проб з головного простору для аналізу на газовому хроматографі. Коефіцієнт варіації становить 12%. Метод є дискретним (неможливо відстежити безперервну динаміку), трудомістким і руйнівним для зразка, а також потребує висококваліфікованого персоналу.

Існують також непрямі способи оцінки, зокрема за співвідношенням пропіонату та ацетату (шлях Фітца). Однак такі розрахунки дають лише приблизну оцінку і можуть удвічі занижувати реальну швидкість виділення CO_2 через неврахування усіх можливих послідовностей ферментативних біохімічних реакцій, а також різноманітності та неоднорідності складу і властивостей мікрофлори.

На початковому етапі аспірантського дослідження запропоновано метод, заснований на безперервному вимірюванні різниці концентрацій CO_2 на вході та виході камери дозрівання. Отримані дані можуть бути безпосередньо використані для зворотного зв'язку в системі автоматичного керування процесом дозрівання сирів. Такий підхід дає змогу оперативно коригувати умови дозрівання залежно від фактичної активності мікрофлори, що особливо важливо для сирів, у яких швидкість виділення CO_2 безпосередньо визначає формування рисунка.

Висновки. Метод, заснований на вимірюванні різниці концентрацій CO_2 на вході та виході камери дозрівання, дозволяє отримувати безперервну інформацію про перебіг процесу без порушення цілісності продукту. Його інтеграція в систему автоматичного керування відкриває можливість підвищення якості продукції.

Література

1. Acerbi F., Guillard V., Aliani M., Guillaume C., Gontard N. (2015). Novel methodology for the in situ assessment of CO_2 production rate and its application to anaerobic

ripened cheese. Food Research International, 78, 295-301.

Biometric authentication method of personnel of critical infrastructure facilities based on facial and iris of the eye images using neural network tools

Oleh Tereikovskyi
State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine

Introduction. The goal is to develop a multimodal biometric authentication method of personnel of critical infrastructure facilities, integrating facial and iris of the eye images recognition with adaptive video stream processing and multi-level anti-spoofing analysis to enhance security and identification efficiency [1].

Materials and methods. Research materials include video stream frames and biometric image datasets. The methodology integrates adaptive preprocessing (white balance, CLAHE, bilateral filtering) [2], semantic segmentation for iris/face isolation, and multi-layered spoofing detection using optimized pre-trained models (FaceMeshV2, Visual Transformer, DeepPixBiS, MobileNet). Decision-level fusion aggregates results from facial features, iris patterns, and emotional state analysis. The authentication process is structured into a seven-stage hierarchical pipeline, where identity verification is performed using Siamese neural networks to compare real-time biometric vectors with stored templates. This architecture facilitates concurrent analysis of facial geometry and iris textures while filtering out environmental noise through pixel-wise masking.

Results and discussion. Experimental evaluation demonstrates that the proposed adaptive video processing and multi-level analysis increase spoofing detection accuracy by 25–35% compared to monolithic architectures [1]. The use of pre-trained open-source models (Siamese and Two-channel networks) reduced system development time by at least 1.5 times. The integration of semantic segmentation and adaptive CLAHE preprocessing allowed the system to maintain stable recognition performance even when the face was partially occluded or subjected to non-uniform industrial lighting. Optimal image quality parameters were established for real-time processing: average brightness $Y_{avg} \in [70,180]$, minimum Michelson contrast $\lambda_M \geq 0.35$, and a blur threshold $\Delta_{\sigma_L^2} \geq 100$. Noise reduction via bilateral filtering (with spatial $\sigma_s = 5$ and range $\sigma_r = 10$) ensured stable feature extraction under varying illumination conditions typical for critical infrastructure facilities environments. Additionally, a frame is classified as unsuitable if over 50% of pixels fall outside the [50, 200] brightness range or if the brightness range width W_{Y} (difference between 95th and 5th percentiles) is below 40.

Conclusions. The scientific novelty consists in a unified architecture providing simultaneous face-iris analysis and multi-factor liveness detection (emotions, environment, vitality). The method is recommended for high-security access control systems requiring rapid, spoof-resistant identification.

References

8. Korchenko O., Tereikovskyi O. (2025). Method of biometric authentication of critical infrastructure personnel by face image and iris of the eye using neural network tools. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 1(29), pp. 92-106.

9. Tereikovska L., Tereikovskyi I. (2024). Evaluation and correction of visual characteristics of images. *Science, technology and innovation in the context of global transformation: Scientific monograph*. Riga, Latvia: Baltija Publishing, pp. 205-225.

IoT-шар для SCADA/PLC біогазового комплексу

Максим Кривченко, Володимир Дружинін
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. У роботі обґрунтовано архітектуру IoT-шару для підвищення оперативності виявлення технологічних відхилень у біогазовому комплексі без втручання в критичний контур PLC. Підхід орієнтований на безперервний моніторинг, тривоги та підтримку операторських рішень у зв'язці зі SCADA/PLC.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є взаємодія польових датчиків, SCADA/PLC та IoT-рівня біогазового комплексу. Проаналізовано параметри раннього виявлення нестабільності: температуру, pH, тиск, витрату біогазу, вміст CH_4/CO_2 та H_2S. Запропоновано архітектуру збору телеметрії через PLC або локальний шлюз із передачею за MQTT/HTTPS, збереженням часових рядів і поверненням агрегованих індикаторів у SCADA через OPC UA або Modbus TCP. Для аналітичного рівня передбачено порогові, трендові та подієві правила, а також короткостроковий прогноз на основі лагових ознак.

Результати. У результаті дослідження сформовано архітектуру IoT-шару, у якій PLC зберігає функції критичного технологічного керування, а IoT-рівень реалізує моніторинг, накопичення історичних даних, журналювання подій, виявлення аномалій і попередження оператора. Основними функціональними результатами підходу є: узгоджений архів часових рядів ключових параметрів із прив'язкою до режимів роботи; журнал подій, що пов'язує зміни телеметрії з діями обладнання і переходами технологічного процесу; агреговані індикатори для SCADA або аналітичних панелей, зокрема попереджувальні стани щодо зсуву pH, зниження частки CH_4, зростання H_2S та нестабільності тиску чи витрати біогазу. Обґрунтовано, що така побудова дає змогу виявляти ранні ознаки погіршення процесу до переходу в явно неефективний режим. Це узгоджується з даними досліджень, за якими системи раннього виявлення для анаеробного зброджування можуть забезпечувати випереджувальний час 3-7 діб, а VFA/алкалінність-похідні індикатори раннього попередження – зростати у 2-3 рази за кілька діб до відмови і в 10-30 разів на момент відмови. Практична придатність архітектури визначається повнотою первинної телеметрії, наявністю режимних тегів SCADA, синхронізацією часових міток, буферизацією даних і дотриманням вимог OT-кібербезпеки.

Висновки. Запропоновано практично придатний IoT-шар над SCADA/PLC біогазового комплексу, що підвищує прозорість процесу та скорочує інтервал між появою відхилення і його фіксацією. Цінність роботи полягає в поєднанні телеметрії, подій SCADA та аналітичних правил без зміни логіки критичного керування.

Література

3. Wu D., Li L., Peng Y., Yang P., Peng X., Sun Y., Wang X. State indicators of anaerobic digestion: A critical review on process monitoring and diagnosis, стаття. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. URL: https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111260.
4. Marycz M., Turowska I., Glazik S., Jasiński P. Artificial Intelligence in Anaerobic Digestion: A Review of Sensors, Modeling Approaches, and Optimization Strategies, стаття. Sensors. 2025. URL: https://doi.org/10.3390/s25226961.
5. Freitas L., Silva M. та ін. OPC UA and MQTT performance analysis within a unified namespace context. URL: https://doi.org/10.1016/j.iot.2025.101734.

Автоматизація моніторингу клієнтського обладнання на основі інтеграції IoT-пристроїв у логістичну CRM-систему

Денис Луцак, Ігор Пархомей
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Сучасна логістична галузь критично залежить від безперебійної роботи спеціалізованого обладнання: конвеєрів, холодильних установок та систем зберігання. Будь-який непередбачуваний простій призводить до значних фінансових втрат. Метою дослідження є розробка автоматизованої системи моніторингу на базі IoT, інтегрованої в CRM-систему, для переходу від реактивного до предиктивного обслуговування.

Матеріали і методи. Модель системи базується на трирівневій архітектурі: апаратний рівень (ESP32), рівень Edge-обробки (Python) та хмарний рівень CRM. Для збору телеметрії (температура, вібрація, живлення) використано мікроконтролери ESP32 з протоколом MQTT та механізмами QoS для забезпечення цілісності даних. Обробка даних здійснювалася за допомогою Python-скриптів, що використовують REST API для автоматичного створення інцидентів у CRM-системі.

Результати та обговорення. Впровадження автоматизованої передачі даних у режимі реального часу дозволяє CRM-системі самостійно генерувати завдання для ремонтних бригад до моменту виникнення критичної поломки. За результатами аналізу, очікується:

- зниження середнього часу реакції на критичні інциденти на 40%;
- зменшення кількості повних зупинок обладнання на 25%;
- скорочення операційних витрат на планові перевірки на 30%. Система ефективно фіксує не лише збої, а й поступову деградацію параметрів, що свідчить про знос деталей.

Висновки. Інтеграція IoT-пристроїв у логістичну CRM-систему є економічно доцільним рішенням, яке трансформує бізнес-процеси та робить їх стійкими до технічних збоїв. Запропонована модель оптимізує роботу персоналу та забезпечує надійний канал передачі телеметрії.

Література

1. Kumar A., Singh R. (2023), Internet of Things (IoT) in modern logistics: Architecture, applications, and challenges, Journal of Supply Chain Management and Technology, 14(2), pp. 112-128.
2. Мельник О. В., Коваленко І. М. (2024), Застосування мікроконтролерів ESP32 для побудови промислових систем моніторингу, Сучасні інформаційні системи, 8(1), pp. 45-53.
3. Davis P., Johnson M., Lee K. (2025), Predictive Maintenance in the Era of Industry 4.0: Integrating Edge Computing and Cloud CRM, IEEE Internet of Things Journal, 12(3), pp. 410-425.

Автоматизація моніторингу клієнтського обладнання на основі інтеграції IoT-пристроїв у логістичну CRM-систему

Денис Луцак, Ігор Пархомей
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Сучасна логістична галузь критично залежить від безперебійної роботи спеціалізованого обладнання: конвеєрів, холодильних установок та систем зберігання. Будь-який непередбачуваний простій призводить до значних фінансових втрат. Метою дослідження є розробка автоматизованої системи моніторингу на базі IoT, інтегрованої в CRM-систему, для переходу від реактивного до предиктивного обслуговування.

Матеріали і методи. Модель системи базується на трирівневій архітектурі: апаратний рівень (ESP32), рівень Edge-обробки (Python) та хмарний рівень CRM. Для збору телеметрії (температура, вібрація, живлення) використано мікроконтролери ESP32 з протоколом MQTT та механізмами QoS для забезпечення цілісності даних. Обробка даних здійснювалася за допомогою Python-скриптів, що використовують REST API для автоматичного створення інцидентів у CRM-системі.

Результати та обговорення. Впровадження автоматизованої передачі даних у режимі реального часу дозволяє CRM-системі самостійно генерувати завдання для ремонтних бригад до моменту виникнення критичної поломки. За результатами аналізу, очікується:

- зниження середнього часу реакції на критичні інциденти на 40%;
- зменшення кількості повних зупинок обладнання на 25%;
- скорочення операційних витрат на планові перевірки на 30%. Система ефективно фіксує не лише збої, а й поступову деградацію параметрів, що свідчить про знос деталей.

Висновки. Інтеграція IoT-пристроїв у логістичну CRM-систему є економічно доцільним рішенням, яке трансформує бізнес-процеси та робить їх стійкими до технічних збоїв. Запропонована модель оптимізує роботу персоналу та забезпечує надійний канал передачі телеметрії.

Література

1. Kumar A., Singh R. (2023), Internet of Things (IoT) in modern logistics: Architecture, applications, and challenges, Journal of Supply Chain Management and Technology, 14(2), pp. 112-128.
2. Мельник О. В., Коваленко І. М. (2024), Застосування мікроконтролерів ESP32 для побудови промислових систем моніторингу, Сучасні інформаційні системи, 8(1), pp. 45-53.
3. Davis P., Johnson M., Lee K. (2025), Predictive Maintenance in the Era of Industry 4.0: Integrating Edge Computing and Cloud CRM, IEEE Internet of Things Journal, 12(3), pp. 410-425.

Застосування технології Digital Twin для автоматизації виробництва

Чінкуе Камелія
Інститут поліграфії та медійних технологій НУ «Львівська політехніка», Львів, Україна

Вступ. Підвищення ефективності виробництва та зменшення витрат є важливим завданнями сучасних підприємств. Концепція цифрового двійника (Digital Twin) розглядається як перспективний інструмент комп'ютерно-інтегрованого управління технологічними процесами.

Матеріали і методи. Проведено аналіз наукових публікацій щодо архітектури і принципів побудови цифрових двійників у промисловій діяльності. Використано методи системного аналізу та порівняльного огляду існуючих підходів до моделювання виробничих процесів.

Результати та обговорення. За результатами дослідження літератури запропоновано чотирирівневу архітектуру системи Digital Twin (рис. 1): рівень 1-фізичний (технологічне обладнання, датчики температури, тиску, витрати); рівень 2-збору даних (IoT-шлюз, протоколи OPC-UA та MQTT); рівень 3- цифрової моделі (симуляційне середовище, алгоритми прогнозування); рівень 4-управління (зворотній зв'язок з виробничою лінією, система прийняття рішень). Різниця від трирівневих схем, описаних у літературі, запропонована архітектура виокремлює рівень управління як самостійний компонент, що дозволяє чіткіше розмежувати функції моніторингу та активного втручання в процес. Такий підхід також спрощує масштабування системи та її адаптацію до різних типів виробництв без зміни базової структури. Впровадження такої системи, за даними дослідження, дозволяє скоротити час простою обладнання на 20-35% та знизити витрати на технічне обслуговування на 15-25%. Досягнення цих показників значною мірою залежить від якості вхідних даних та рівня інтеграції Digital Twin з існуючою інфраструктурою підприємства.

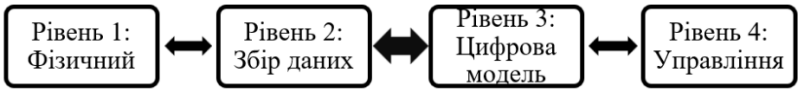


Рис 1. Чотирирівнева архітектура системи Digital Twin

Висновки. Запропонована чотирирівнева архітектура системи Digital Twin враховує специфіку промислового виробництва та може слугувати основою для розробки конкретних програмно-апаратних рішень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на верифікацію моделі на реальній виробничій лінії.

Література

Чінкуе К. Імітаційний цифровий двійник поліграфічної установки з інтелектуальними алгоритмами. Збірник тез за матеріалами II Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених С. 300.

Мазник Л., Жуковська К. Використання технології цифрових двійників для компенсації кадрового дефіциту та модернізацію харчової промисловості України. Економіка та суспільство. 2025. № 78.

19.2.

Information technology

19.2.

Інформаційні технології

Intelligent data processing methods at edge nodes for reducing latency in real-time systems

Cinque Paola
Institute of Printing and Media Technologies of Lviv Polytechnic National University

Introduction. With the rapid growth in the number of Internet of Things (IoT) devices and the volume of data they generate, traditional cloud computing faces challenges such as high latency, network congestion, and reduced efficiency of real-time systems. In this context, the Edge Computing paradigm becomes increasingly relevant, as it shifts computation closer to the data source. The aim of this study is to reduce latency in networked systems by applying intelligent data processing methods at edge nodes.

Materials and methods. The study considers an approach to processing streaming data generated by IoT devices. An intelligent module at the edge node is proposed, which performs data classification, filtering, and prioritization. Decision-making is based on heuristic algorithms and elements of machine learning. The processing strategy involves selecting between local processing and transmission to the cloud depending on the importance and urgency of the data.

Results and discussion. As a result of the study, a model of an intelligent edge-based data processing system was developed, providing adaptive distribution of computational resources. The proposed architecture (Fig. 1) reduces data transmission latency by enabling local processing of critical information. Experimental estimates show that the intelligent approach can reduce latency by 30–40% compared to traditional cloud-based models. In addition, a decrease in the volume of transmitted data is observed, which reduces network load and improves overall system efficiency.

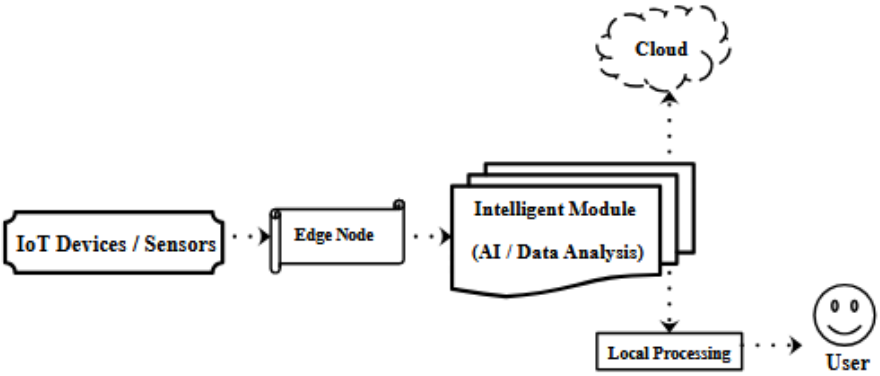


Fig. 1. Architecture of an intelligent edge-based data processing system in real time

Conclusions. The proposed approach to using intelligent data processing methods at edge nodes significantly reduces latency in real-time networked systems. The use of adaptive analysis and distribution of computations between the edge and the cloud improves system efficiency, scalability, and reliability. The results confirm the effectiveness of applying Edge Computing in modern information systems.

Роботизована система моніторингу та прогнозування поширення радіаційного забруднення проточних водойм

Юрій Гавриленко, Ігор Пархомей
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Забезпечення безпеки водних ресурсів в умовах техногенних загроз вимагає переходу від ручних методів контролю до роботизованих систем. Перспективним напрямком є створення систем, для вимірювання рівня радіації та прогнозування його поширення за допомогою математичних закономірностей.

Матеріали і методи. Дрон оснащено дозиметром для фіксації випромінювання. Комп'ютер виконує збір та обробку даних від датчиків. Для прогнозування розповсюдження радіоактивних речовин використано чисельний метод розв'язання рівняння адвективної дифузії. Алгоритм враховує швидкість течії та коефіцієнт турбулентної дифузії, розраховуючи масив даних концентрації забруднення покроково. Для відображення використовується веб-інтерфейс на локальному сервері.

Результати. Встановлено, що використання алгоритмічного методу конвекції-дифузії (CD), за формулою 1.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \lambda \cdot C \tag{1}$$

де C(x,t) – концентрація радіонукліду в точці x у момент часу t; v – швидкість течії води; D – коефіцієнт турбулентної дифузії; λ – константа радіоактивного розпаду.

Що уникає проблеми залежності від великих наборів даних, характерної для ML-підходів. C#-реалізація моделі дозволяє досягти практично таких самих результатів за меншим набором даних. Нижче наведена запропонована архітектура системи.

Рівень 1 включає: чотири типи датчиків для збору даних у водоймі

- Гідро-дрон
- Стаціонарний датчик
- Підводний зонд

Рівень 2: включає збір даних

- Пристрій збору даних (DAQ Device)

Рівень 3 включає: маршрутизацію потоків даних

- Шлюз (Gateway)

Рівень 4 включає: три підсистеми серверної обробки

- Аналітичний двигун
- Завантаження у файл csv

Рівень 5 включає: інтерфейс для оператора

- Веб-інтерфейс

Висновки. Впровадження роботизованої системи дозволяє вирішити задачу оперативності отримання даних. Запропоноване рішення дозволяє прогнозувати рух радіоактивної плями, безпосередньо на місці події, через відображення на локальному сервері через веб-застосунок.

Література

1. Uatom.org. (2024) Моніторинг радіоактивних речовин у водоймах та ґрунтах. Uatom.org. URL: https://www.uatom.org/2021/09/28/monitoring-radioaktivnih-rechovin-u-vodojmah-ta-gruntah.html

Using Frontal Alpha Asymmetry of EEG to Assess Consumers' Emotional Response to Culinary Products

Vitalii Mykhalchuk[1]
1 – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Introduction. Modern neurotechnologies provide new opportunities for objective analysis of consumers' emotional reactions in marketing research between which Frontal Alpha Asymmetry (FAA) index for evaluating emotional valence is applicable.

Materials and methods. The experiment was conducted using a portable EEG device Emotive Insight 2.0. Participants tasted three types of culinary products differing in texture and aromatic profile. EEG signals were filtered within the 1–40 Hz range, after which α-activity (8–12 Hz) was extracted using Welch's spectral estimation method. Positive FAA values were interpreted as positive emotional valence, while negative values indicated negative valence. The study involved 12 volunteers (6 male, 6 female), aged 20–32 years (M = 25.4), with normal or corrected-to-normal vision and no history of neurological disorders.

Results. Preliminary analysis showed that FAA demonstrates stable differences between the types of tasted products. Products with a pronounced aroma elicited an increase in FAA by 0.12–0.18, corresponding to positive emotional valence. Sweet samples produced elevated α-activity predominantly in the F4 region, resulting in FAA ≈ 0.08–0.11. Samples with coarse texture showed a decrease in FAA to –0.05…–0.09, indicating a less pleasant emotional response. Temporal FAA analysis revealed that emotional reactions emerged within the first 3–5 seconds after tasting, which aligns with findings from previous neuromarketing studies. FAA proved sensitive to the sensory characteristics of the products, enabling its use as a quantitative indicator of a dish's emotional attractiveness (Fig.1).

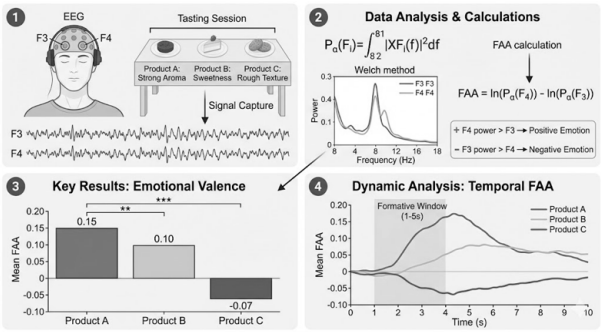


Figure 1. Experiment Design and Key Results

Conclusions. The frontal alpha asymmetry index is an effective tool for assessing consumers' emotional responses to culinary products. FAA enables quantitative differentiation of products based on their emotional attractiveness. Preliminary results demonstrate the potential of FAA for neuromarketing research in the food industry. Future work may include expanding the participant sample, using multi-channel EEG systems, and integrating FAA with other biometric indicators (GSR, HRV).

References

6. Metzen, D. (2022) "Frontal and Parietal EEG Alpha Asymmetry: A Large-Scale Investigation of Short-Term Reliability on Distinct EEG Systems." Brain Structure and Function, vol. 227, p. 725.

Моделі та засоби моніторингу параметрів мікроклімату навчальних приміщень на основі IoT-рішень

Олександра Нагорнюк
Київський Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Сучасні навчальні приміщення потребують підтримання оптимальних параметрів мікроклімату, оскільки вони безпосередньо впливають на здоров'я, самопочуття та когнітивні здібності учасників освітнього процесу. Недостатня вентиляція, підвищена концентрація вуглекислого газу або невідповідні температурні умови можуть призводити до зниження концентрації уваги та продуктивності навчання.

Матеріали і методи. У межах дослідження використано підхід побудови IoT-системи на основі сенсорних вузлів, що вимірюють основні параметри мікрокліматуі. Як апаратну основу можуть використовуватися мікроконтролери у поєднанні з відповідними сенсорами. Передача даних здійснюється за допомогою бездротових протоколів зв'язку до центрального сервера чи хмарної платформи. Для зберігання та обробки даних застосовуються бази даних і засоби аналітики.

Результати. У ході дослідження отримано результати, що підтверджують ефективність використання IoT-рішень для моніторингу параметрів мікроклімату в навчальних приміщеннях.

Після впровадження IoT-моніторингу забезпечено стабілізацію основних параметрів мікроклімату. Як показано в Таблиці 1, середні значення температури та відносної вологості наблизилися до нормативних діапазонів, а рівень CO_2 знизився до безпечних значень.

Параметр мікроклімату	**Нормативне значення**	**До впровадження IoT**	**Після впровадження IoT**
Температура повітря, °C	*18-24*	*17-26*	*20-23*
Відносна вологість, %	*40-60*	*30-70*	*45-55*
Концентрація CO_2, ppm	≤ 1000	1200–1800	700–900
Освітленість, лк	≥ 300	200–350	350–450

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика параметрів мікроклімату до та після впровадження IoT-моніторингу

Висновки. На відміну від існуючих IoT-рішень загального призначення, запропонована модель моніторингу мікроклімату адаптована до специфіки навчальних приміщень з урахуванням тривалого перебування людей та змінної наповнюваності аудиторій, що дозволяє більш точно оцінювати якість повітря та умови навчального середовища.

Модель енергозбереження у житлових приміщеннях із застосуванням IoT

Богдан Власенко, Олена Сіпко
Факультет інформаційних технологій КНУ імені Тараса Шевченка

Вступ. Запропоновано модель енергозбереження у житлових приміщеннях із використанням IoT–технологій, орієнтовану на адаптивне керування енергоспоживанням. Метою є зниження витрат енергії з урахуванням поведінкових факторів і змін зовнішніх умов.

Дані та методи. Дослідження базується на моделі IoT–системи з датчиками температури, вологості, освітленості, CO_2 та присутності. Дані збираються з інтервалом у кілька хвилин і обробляються із застосуванням згладжування ковзним середнім. Для прогнозування використано регресійну модель короткострокового енергоспоживання. Оптимізація здійснюється шляхом мінімізації цільової функції, що враховує енергоспоживання та відхилення температури від комфортного значення. Моделювання виконано в дискретному часовому середовищі з урахуванням добових циклів та змін зовнішньої температури.

Результати та аналіз. Моделювання виконано для квартири площею 75 м² протягом умовного місячного періоду. Порівняння здійснювалося між традиційним режимом експлуатації та режимом із застосуванням IoT–системи. Отримані результати показали, що автоматизація освітлення на основі датчиків присутності дозволяє скоротити споживання електроенергії на освітлення до 30%. Оптимізація роботи системи опалення, зокрема зниження температури в нічний час і за відсутності мешканців, забезпечує економію теплової енергії в межах 15-20%.

Загальне скорочення енергоспоживання становило від 15 до 25% залежно від поведінкових сценаріїв. При цьому відхилення параметрів мікроклімату не перевищували допустимих норм, що підтверджує збереження комфортних умов проживання. Важливим результатом є також підвищення прозорості енергоспоживання – користувач отримує детальну аналітику щодо структури витрат та може коригувати власні звички.

Ефект економії 15-20% пояснюється тим, що система не лише реагує на поточний стан, а й прогнозує майбутнє навантаження. Аналіз показав, що найбільший ефект досягається при поєднанні автоматичного управління з прогнозуванням на основі історичних даних.

Додатково встановлено, що адаптивний характер алгоритму дозволяє враховувати індивідуальні сценарії поведінки користувачів, підвищуючи ефективність системи в довгостроковій перспективі. Отримані результати підтверджують доцільність використання багаторівневої IoT-архітектури для забезпечення стійкого зниження енергоспоживання в житлових умовах.

Висновки. Розроблена модель енергозбереження із застосуванням IoT забезпечує зниження енергоспоживання на 15-25% без погіршення комфортних умов проживання. Новизна підходу полягає у поєднанні прогнозування, адаптивного керування та аналізу поведінкових факторів у єдиному замкненому контурі. Практична цінність результатів полягає у можливості їх застосування при створенні інтелектуальних систем енергоменеджменту житлових будівель.

Джерела

1. Paudel S., Elmtiri M., Kling W. L., Corre O. L., Lacarrière B. (2019) Pseudo dynamic transitional modeling of building heating energy demand using artificial neural networks. *Energy and Buildings*, 70, 81–96.

IoT-система формування та обліку електронних цінників автозаправної станції

Артемій Рибалко, Ігор Пархомей
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. На автозаправних станціях ціни на паливо та супутні товари змінюються регулярно, тому інформація на ціннику повинна збігатися з даними касової системи. Ручне оновлення паперових цінників збільшує час обслуговування персоналом, створює ризик помилок та ускладнює контроль історії змін. Використання електронних цінників у поєднанні з IoT-підходом дає змогу автоматизувати процес формування, передавання та підтвердження нової ціни.

Матеріали і методи. Запропоновано концептуальну архітектуру системи, що включає сервер керування цінами, базу даних, gateway для взаємодії з ESL-мітками, веб-інтерфейс оператора та модуль інтеграції з POS/PPO. Для опису роботи системи використано структурний і функціональний підходи: проаналізовано потоки даних між рівнями системи, порядок синхронізації цін, журналювання подій і механізми контролю стану міток. Обмін між сервером і gateway передбачає використання захищених мережевих протоколів, а між gateway та ESL - бездротового каналу виробника.

Результати. У результаті сформовано модель IoT-системи, здатної централізовано керувати електронними цінниками АЗС, забезпечувати планове або термінове оновлення цін, підтвердження доставки змін та зберігання історії дій. Система дозволяє контролювати доступність міток, рівень їх батареї, якість зв'язку та факт застосування оновленої ціни. Передбачено аудит дій користувачів із фіксацією часу, причини зміни та ідентифікаторів товару і зони розміщення. Інтеграція з POS/PPO забезпечує узгодженість між ціною на ціннику та ціною в чеку.

Висновки. Запропонована IoT-система підвищує точність і оперативність зміни цін на АЗС, зменшує вплив людського фактора та створює основу для подальшого розвитку сервісів динамічного ціноутворення й аналітики. Практичне впровадження такої системи сприятиме зниженню операційних витрат, підвищенню прозорості обліку та покращенню взаємодії між торговим обладнанням і інформаційними системами підприємства.

Література

1. OASIS Standard. MQTT Version 5.0. 2019.
2. NISTIR 8259A. IoT Device Cybersecurity Capability Core Baseline. 2020.
3. W3C Recommendation. Web of Things (WoT) Architecture. 2023.

Модель інтелектуальної системи виявлення аномалій мережевого трафіку на основі машинного навчання

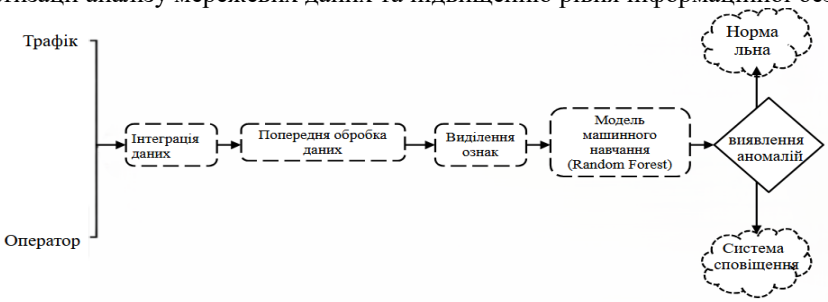
Чінкуе Паола
Інститут поліграфії та медійних технологій НУ «Львівська політехніка»

ВСТУП. Зростання кількості кіберзагроз у сучасних інформаційних системах потребує використання інтелектуальних методів аналізу мережевого трафіку. Метою дослідження є підвищення ефективності виявлення аномалій у мережевому середовищі шляхом використання алгоритмів машинного навчання.

Матеріали і методи. У дослідженні використано набір мережевих даних, що містить нормальні та аномальні з'єднання. Для аналізу застосовано методи машинного навчання, зокрема алгоритм класифікації Random Forest. Обробка даних виконувалась у середовищі Python із використанням бібліотек для аналізу даних та побудови моделей. Для оцінювання ефективності моделі використано показники точності класифікації, повноти та F-міри.

Результати та обговорення. У результаті проведеного дослідження розроблено модель інтелектуальної системи аналізу мережевого трафіку. Проведені експерименти показали, що застосування алгоритму Random Forest забезпечує точність виявлення аномалій на рівні 94.2 %, що на 17 % вище порівняно з традиційними методами статистичного аналізу. Також було встановлено, що оптимальна кількість дерев у моделі становить 100, що забезпечує баланс між швидкістю обробки та точністю результатів. Час обробки одного набору мережевих даних обсягом 10^5 записів становив близько 1.8 s, що підтверджує можливість використання запропонованого підходу в системах реального часу. Отримані результати свідчать про ефективність використання алгоритмів машинного навчання для автоматизованого виявлення підозрілої мережевої активності.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє підвищити точність виявлення аномалій мережевого трафіку та може бути використаний у системах кіберзахисту інформаційних ресурсів. Використання алгоритмів машинного навчання сприяє автоматизації аналізу мережевих даних та підвищенню рівня інформаційної безпеки.



Структурна модель інтелектуальної системи аналізу мережевого трафіку на основі машинного навчання

Development of an information-analytical system for monitoring logistics operations of a retail network

Hlieb Amosov, Mykhailo Hrama
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The rapid growth of the "Epicentr K" shopping center network and the expansion of its own parcel locker network require a high level of automation in logistics processes. The problem of low efficiency in monitoring locker occupancy and a significant share of manual data processing in ERP Odoo necessitates the implementation of specialized analytical solutions for operational management.

Materials and methods. The object of study is the logistics processes of the "Parcel Locker Supply Warehouse" at "Epicentr K" LLC. IDEF0 and BPMN notations were used for business process modeling. The system design was carried out using PostgreSQL DBMS for data storage, Python for ETL processes, and the Tableau platform for visualizing key performance indicators (KPIs).

Results and discussion. During the research, a data warehouse architecture based on a "star schema" was designed to optimize complex JOIN queries and separate analytical workloads from the primary transactional database. A key element of the system is a mathematical model based on the Bin Packing Problem, which enables the automatic selection of optimal locker sizes (from XS to XXL) based on SKU dimensions.

The integration of Python-based ETL scripts utilizing SQLAlchemy ensures automated data cleansing and deduplication, significantly reducing the human factor in data preparation. This technical synergy allows for high-frequency data updates without compromising the performance of the ERP Odoo environment.

Interactive dashboards were developed in Tableau, providing multi-layered visualization of locker geography, inventory monitoring, and real-time delivery time analysis. The system enables dispatchers to identify logistical bottlenecks through geospatial heatmaps and dynamic filtering of SKU categories, reducing the time for manual report generation from several hours to mere minutes.

Conclusions. The implementation of the proposed system ensures automated decision-making in order sorting and enhances the transparency of the supply chain. The expected economic efficiency includes a 15% reduction in logistics costs and an increase in the turnover rate of parcel locker cells. The system's scalability allows for future integration with predictive AI models to forecast peak seasonal loads.

References

1. McKinney W. Python for Data Analysis. – M.: DMK Press, 2020. – 540 p.
2. Sleeper R. Practical Guide to Tableau. – M.: Williams, 2021. – 410 p.

Analysis of financial risks using Bayesian data analysis

Petro Bidyuk, Oxana Tymoshchuk[1], Vira Huskova[1], Valerii Gavrylenko[2]

[1]*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky KPI"*
[2]*National Transport University*

Introduction. The problem of financial risks analysis is urgent for banks, insurance companies, enterprises and other institutions the world over. To reduce the loss due to various risks it is necessary to develop and use modern Decision Support Systems (DSS) on the basis methods, models and appropriate computational procedures providing reliable instrumentation in conditions of uncertainty for reducing possible loss. This direction of DSS development is developing very fast providing for the systems with new methods and models. Among the instruments of financial risk analysis and management are models and methods of Bayesian type. They show capabilities of adequate describing financial processes in conditions of uncertainty.

Materials and methods. The study is based upon analysis of some Bayesian methods, models and computational procedures that can be used effectively in the systems for financial risks analysis in conditions of uncertainty. Financial processes in risk management have the following special features: non-stationarity, non-linearity, they may include outliers etc. Among the possibilities that provides for researchers Bayesian methodology, considered are the following: Bayesian programming, generalized linear models, Bayesian networks (BN), Bayesian regression etc. Bayesian programming is a wide set of mathematical instruments of Bayesian type that include probabilistic (particle) filters for preliminary data processing and short-term forecasting of development the processes under study, the methods that are directed on simulation of various processes, procedures for simulation and model parameters estimation like Markov Chain Monte Carlo (MCMC) etc. Another possibility of Bayesian methodology are generalized linear models (GLM) that extend substantially nomenclature of processes being studied providing the possibilities for usage of data with various distributions including normal, exponential, Poisson etc. Bayesian networks are very appropriate for modeling complex multivariate processes characterized with discrete and continuous data, uncertainties of statistical and probabilistic character. There exist very well developed programming tools for constructing BN and computing probabilistic inference using these models. Also exists well developed instrumentation providing for simulation of stochastic processes based upon Markov Chain Monte Carlo procedures. Besides simulation, MCMC procedures are used to construct various probabilistic data filters and model parameters estimation procedures.

Results and discussion. The main problem in risk management is estimation of possible loss in conditions of uncertainty. To solve the problem researchers and engineers construct models that exhibit high adequacy and high quality forecasting characteristics. Good results of risk estimation showed the models of Bayesian type that have wide nomenclature and can fight uncertainties of probabilistic and statistical types.

Conclusion. The study performed was directed towards analysis and application of Bayesian methodology of constructing mathematical models of actuarial and other financial processes in various spheres. It was proposed and proved experimentally effectiveness of functioning Bayesian multistep methodology with the use of Bayesian programming, generalized linear models, Bayesian networks, Bayesian estimation techniques etc. The illustrative examples showed that the methodology of modeling proposed creates effective and convenient instrument of modeling processes in risk management.

Prospects for the use of data analytics in food technology

Mykhailo Hrama
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. Let's be honest: the era, when in large factories everything was kept under the "eyeball" of an experienced technologist, is gradually becoming a thing of the past. Before, we just got used to many decisions being made out of habit or based on how it was last year. But now it is too dangerous for the wallet. Data today is simply a way of seeing reality without rose-colored glasses. Producers now do not guess whether they will buy more oat milk tomorrow, but simply open the numbers from supermarkets in real time. They see that the demand is growing - they add momentum. They see that the product is lying dead weight - they slow down. This is basic common sense that has finally become technological.

Materials and methods. Logistics has always been a headache for anyone working with food. The sun burns - the milk goes sour, the truck is stuck at the border - the vegetables wither. Previously, such losses were attributed to a "bad day", but now we have learned to play with the weather and circumstances. If the forecast shows abnormal heat, companies simply look for more refrigerators in advance. Or let's take an ordinary bakery. Why should she fill the warehouse with flour a month in advance, if she can calculate the order for a week?

Results and discussion. As a result, warehouses are not bursting at the seams with unnecessary goods, and products do not end up in the trash. This is living money, which the business has stopped simply throwing out on the street. At the enterprises themselves, work has also become somewhat calmer. Sensors are placed on the equipment, which literally "listen" to its condition. For example, at a dairy plant, such a device will sense excess vibration in the mixer long before anything actually falls off. This saves you from accidents, when in the middle of a shift everything goes wrong and you need to urgently look for spare parts. The mechanic just comes and changes the bearing even before the smoke appears.

Conclusion. Quality control has also ceased to be a lottery game. Previously, every hundredth can was checked, but now cameras on the lines monitor each bottle individually. Underfill, a crooked lid or a bad label - the system sees it instantly. Marriage simply does not have time to go to the store. This saves nerves both for the manufacturer and for you and me.

Besides, our tastes change faster than we realize it. Someone suddenly wanted yogurt with a high protein content, someone is looking for a sugar-free drink. Companies now don't have to wait years to understand these trends. They look at what we search for on the Internet, what reviews we leave, and quickly adapt. Therefore, new flavors appear on the shelves much faster.

And one more important point - we finally began to understand what exactly is on our plate. All these QR codes on packages are not just a fad. This is an opportunity to see on which farm the meat was grown or when the grain for your bread was harvested. Transparency gives trust. If an error occurs somewhere, it is found in a matter of minutes. As a result, the food industry becomes clearer and more honest. Less waste, more sustainability and food that no one is ashamed of.

The integration of advanced neural network architectures into the sugar evaporation process

Mykhailo Hrama
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. We've spent decades leaning on basic controllers and old-school physics, but they often trip up when the juice gets thick and the heat starts acting weird. Why are we still sticking to "good enough" when we can actually give the factory a brain? Moving toward modern neural networks isn't just a fancy tech upgrade-it's about finally getting a grip on the chaotic, non-linear mess that happens inside those evaporator vessels.

Materials and methods. Most people associate Transformers with ChatGPT, but their real superpower is tracking patterns over time. In a sugar house, everything is connected-steam pressure, flow rates, vacuum levels. If one thing shifts, it triggers a domino effect an hour later. Instead of just reacting to what happened ten seconds ago, these models can "watch" the whole shift and spot a brix deviation before it even starts. It's like having an operator who has every sensor reading from the last five years memorized and never blinks.

Results and discussion. Then there's the physical reality of the plant. A factory isn't just a list of numbers; it's a physical map. This is where Graph Neural Networks come into play. If you treat each evaporator as a "node" and the pipes as the "links," the AI starts to understand the actual layout of the floor. It stops being a blind calculator and starts respecting the flow of the juice.

Transformer models are already being used in sugar evaporation, and in practice it looks much simpler than it might sound at first. The system watches what's going on — temperature, pressure, how thick the syrup is, how much steam is used — and helps operators keep everything in balance. If something starts drifting even slightly, it can point it out early, before it turns into a real problem.

It also helps deal with everyday variability. Raw materials change all the time, and anyone who has worked with beet juice knows how unpredictable it can be. Instead of constantly readjusting things вручну, the model picks up patterns from previous runs and suggests how to keep the process steady. This makes the work a bit less stressful and more predictable.

Another useful part is how it supports engineers in testing different operating modes. Rather than relying only on past experience, they can look at data-driven suggestions and see what settings worked best in similar situations. In the end, it's just a tool — but a practical one that helps reduce wasted energy, keep product quality stable, and make daily operations run more smoothly.

Conclusion. At the end of the day, this matters because mistakes in a sugar mill are expensive. Anyone who has had to shut down because of tube fouling or unexpected crystallization knows that pain. Using something like an Autoencoder to sniff out "ghosts" in the data can tell you a cleaning cycle is needed long before a human would notice. It saves steam, it cuts the carbon footprint, and it saves a lot of headaches. We're moving toward a setup where the machines don't just follow orders-they actually help us navigate the complexity.

Development of a modern CNN-based model for detecting packaging defects at a dairy production enterprise

Mykhailo Hrama
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. Step inside the Yagotynsky Butter Plant and the first thing you notice isn't the technology, it's the speed. Thousands of units of milk, sour cream, and that famous butter fly across the conveyor belts every hour. When things move that fast, mistakes happen. A label goes on crooked. A plastic seal doesn't quite close. A date stamp comes out as a smudge. For years, we relied on people to catch these slips, but let's be honest: after four hours of watching white cartons zoom past, anyone's eyes start to play tricks on them. Fatigue is real, and it's the biggest enemy of quality. This is why we are looking at Convolutional Neural Networks (CNNs). We don't need a "revolutionary paradigm shift"; we just need a digital eye that doesn't get tired and doesn't blink.

Materials and methods. The big question is why this is so hard to automate in the first place. We need something smarter. By using a CNN, we aren't writing a manual of rules for every possible mistake. We are basically showing the computer thousands of photos of what "good" looks like and what "bad" looks like. It's more like training a new apprentice than writing a computer program.

Results and discussion. Building this system isn't just about sitting in a quiet office and writing code. And the data we use to teach the model has to be "ugly." We shouldn't just show it perfect studio photos. We need to show it images with shadows, blur, and condensation-the exact things it will actually see every Tuesday morning at 3 AM on the production line.

Then there is the issue of speed. The butter lines at Yagotynsky don't wait for anyone. If the neural network takes two seconds to "think" about a package, the line has already moved ten meters down the hall. This is why we lean toward architectures like YOLO. It's fast. It looks at the whole image once and makes a call.

We don't need the most complex, massive model ever built; we need one that is lean enough to run on a small industrial computer tucked under the conveyor belt. This is "edge" computing in action. By processing the images right there on the spot, we can trigger a mechanical arm to flick a bad carton off the line before it ever gets near a shipping crate. When the AI starts seeing a pattern-say, twenty crooked labels in a row-it shouldn't just toss them out. It should send a ping to the technician's tablet. "Hey, check the glue on Machine 4." That turns a simple "defect detector" into a tool that actually helps the staff do their jobs better. It stops the waste before it even happens.

Conclusion. In the end, putting a CNN on the dairy line is about one thing: trust. People buy Yagotynsky products because they know what they are getting. A single leaky milk carton or a butter wrap with a hole in it can ruin that reputation in a second. By using these neural networks, we are just adding another layer of armor to that brand promise. It's a practical, gritty solution to an old-school industrial problem. We are taking some of the most advanced math available today and putting it to work in a room that smells like fresh cream and humming motors. It's not science fiction; it's just the next logical step in making sure that when someone opens a pack of butter, it's exactly as perfect as they expected.

Prospects for using Python in modern education

Mykhailo Hrama
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. People keep talking about how education needs to adapt. Mostly, they mean we should teach everyone to code. They are right. Leaving programming just to the computer science departments is a huge mistake. Coding is basic literacy now. You need it just as much as you need to know how to read a spreadsheet or write an essay. Python sits right at the center of all this. It helps students from any background figure out complex problems. It automates the boring, repetitive parts of their research. It gets them ready for a job market that runs entirely on data. Python is easy to read. It has a massive community behind it. Because of that, it stops being some scary technical hurdle. It becomes a standard, everyday tool for academic work. I watched this shift happen firsthand at the National University of Food Technologies (NUFT) in Kyiv. It completely changed how we handle our labs and our research.

Try learning Java or C++ as your very first programming language. It is brutal. You spend days fighting with missing semicolons, strict type declarations, and weird memory rules. Python is different. You focus purely on your idea. This changes the whole vibe in a classroom. Teachers can actually teach logic. They can show students how to break a big problem apart into smaller pieces. Programming becomes helpful instead of frustrating.

Materials and methods. Python ignores the usual walls between university departments. Data is everywhere. A sociology major wants to scrape thousands of tweets to see how people feel about a news event. A physics major needs to model heat transfer through different metals. They both use Python. The open-source community built tools for absolutely everything. You have Pandas for chopping up big data tables. You have Matplotlib for drawing colorful charts. You have SciPy for the heavy math. Students basically get a free, professional-grade research lab right on their laptops. Bringing these tools into normal, non-tech classes gives students a sandbox. They can pull in real-world numbers and see what they find on their own.

Results and discussion. Modern food factories are highly automated. You need precise control systems to run a modern dairy or a large commercial bakery. We used Python to bring this industrial reality right to our screens. We used simulation libraries and created virtual heat exchangers and evaporators. Work was done on simulating the process of sugar evaporation. We wanted to optimize the evaporation time and temperature. We entered the initial moisture content and volume of the sugar syrup into the script. We could increase the evaporator temperature by five degrees in the code and instantly see what happened to the quality of the sugar syrup. We didn't waste any raw materials or energy resources. This allowed us to get immediate feedback. Working with such a simulation is much better than reading a static section of a textbook. You get a real sense of how factory machines actually behave.

Conclusion. Right now, knowing how to handle data with code is a basic requirement. It is not some special bonus skill. Universities need to put tools like Python into every major. That is how you get graduates who actually understand their field deeply. My time at the National University of Food Technologies proved this to me. We wrote code to speed up our lab work. We simulated bakery ovens. We built our own basic quality-control cameras. We graduated knowing how food is made, and we also knew exactly how to improve the process using data. Python takes abstract textbook theories and turns them into something you can run, break, and fix with your own hands.

Promising modern data processing algorithms

Mykhailo Hrama
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. The world is suffering from a data overload. For years, we've tried to solve this problem with step-by-step logic. Now, these technologies can't effectively solve problems with large amounts of data. We've moved far beyond simple spreadsheets. Today, we need systems that can actually process noise in real time, catching patterns as they emerge. It's not just about getting a faster processor; it's about changing the way machines see everything around them.

Materials and methods. It's pretty amazing when you think about how your phone knows exactly what you're going to type. It's not magic. It's because we've stopped forcing computers to read in a straight line, from left to right. Now they can look at the whole page at once. They can see how the word at the top relates to the thought at the bottom. It's not just about better texting or better translation. It helps us map human DNA and spot strange movements in the stock market that previously took people years to find.

Results and discussion. But not everything fits into a neat spreadsheet. Your friends, your habits, even the way proteins work in your body are more like a web or a map. We've started to focus on those connections, not just looking at individual points. That's important. By looking at the "web," we can predict how a virus might move through a city, or find a new drug that actually works. It's about seeing the big picture, not getting lost in the details.

And then there's the privacy part of the story. Most people hate the idea of a giant server "reading" their private messages just to train an algorithm. So we changed the rules. Instead of sending your data to a machine, we're sending a machine to your data. Your phone learns from your habits right there on your desk. It keeps personal information private and only shares the “lessons” it has learned with the main system. It’s a smart way to get better technology without spying on everyone.

Sometimes the problem is just that there’s too much going on. Trying to look at a thousand different variables at once is a headache. You can’t see the big picture if you’re staring at every tiny number. We’ve found ways to “compress” all that information into something that a human can actually see. For example, in biology, it turns a mountain of confusing numbers into a visual story that shows how a cell grows. It makes the invisible visible.

We’re also teaching computers to learn the hard way — by making mistakes. It’s a lot like training a dog. You give it a “reward” when it does something right, and it eventually finds the best path. This is incredibly important for things like delivery routes or self-driving cars. We no longer have to program every turn. The system simply explores, crashes, and gets better. It handles a sudden storm or a traffic jam much better than any manual code.

Conclusion. In the world of money, we’re moving away from simple yes or no answers. We’re using mathematics that acknowledges that it doesn’t know everything, giving us a range of possibilities instead of a single guess. This is great for detecting fraud. These systems detect tiny, strange patterns in a split second—things that even the best human auditor would miss. It’s a quick, dirty, but very effective way to ensure security.

Modern Data Science technologies

Mykhailo Hrama
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. We talk about data like it's this clean, flowing river, but anyone who actually touches it knows it's more like a flood in a basement. It's messy. It's everywhere. And honestly? Most of it is just noise.

We used to think of data science as this fancy extension of math, something for people in white coats in a lab. But look around. It wasn't some grand plan. We just reached a point where computers got fast enough to handle the sheer mountain of garbage we were generating every day. We stopped just collecting numbers and started trying to make sense of the chaos before it buried us.

Materials and methods. The real headache starts with what everyone calls Big Data. Standard databases just choke on that. So we had to get creative. We started breaking tasks apart, spreading the work across hundreds of machines. It's like trying to move a house; you don't find one giant to carry it, you get a hundred people to take a piece each. And we moved away from waiting for "reports" at the end of the month. Who has time for that?

Results and discussion. Then you have Business Intelligence, or BI. People think BI is just making pretty charts, but that misses the point entirely. If data science is the messy work of digging through the mud, BI is showing the person in the expensive suit why they should care. It's about clarity.

We've all seen those 50-page reports that nobody reads. That's the old way. We're moving away from guessing. We're moving away from "I have a gut feeling." When you put a solid BI tool in front of someone, you're giving them a map in a dark room. It's about finding that one truth in a sea of conflicting opinions.

Where is this all going? Look at your phone. Look at your car. We're moving toward "the edge." We're tired of sending everything to the cloud and waiting for it to come back. We want the processing to happen right there, on the device. It's faster, it's safer, and it just makes sense. And down the road, we have Quantum Computing looming over us. It's still mostly lab stuff for now, but if it works? Everything we know about encryption and data processing goes out the window. It's a complete reset.

This brings us to the ethics of it all, which usually gets ignored until something goes wrong. We can't just vacuum up every bit of personal info and hope for the best. And we have to be honest about bias. Machines learn from us, and we are biased. If we feed a machine a hundred years of unfair data, we shouldn't be surprised when it acts unfair. It's our job to fix that. An "intelligent" system that just repeats our worst habits isn't actually intelligent; it's just a high-tech mirror of our own flaws.

Conclusion. Data science isn't some fixed destination we're trying to reach. It's just this constant, frantic evolution. We are trying to find a balance. On one side, you have the massive, overwhelming scale of Big Data. On the other, you have the need for the simple, sharp clarity of BI. Everything in between is just us trying to build better tools to bridge that gap. We aren't just moving bits around. We're trying to figure out what happens next before it actually happens. It's a wild, messy, exhausting field, but I wouldn't want to be doing anything else. We're basically building the nervous system for the future, one line of code at a time.

Adaptive Combination of Diverse Models for Government Bond Yield Curve Forecasting

Vovchenko Oleksiy[1], Kostikov Mykola[1]
1- National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Introduction. Forecasting the government bond yield curve remains a relevant task in financial analytics. Comparative studies indicate the absence of a single model that consistently outperforms alternatives across all maturities and market conditions. Traditional econometric approaches demonstrate greater robustness under volatile conditions, while machine learning models provide higher accuracy in stable environments. This trade-off between accuracy and robustness justifies the use of combined approaches.

Materials and methods. An adaptive combination method is proposed, incorporating a pool of base models — Dynamic Nelson-Siegel, Svensson, XGBoost, and LSTM. The diversity of the pool is ensured by combining parametric econometric models with machine learning methods. Weights are recalculated separately for the short (3M–2Y), medium (3Y–7Y), and long (10Y–30Y) ends of the curve within a rolling window. Model performance will be evaluated using RMSE, MAE, and the Diebold-Mariano test on monthly FRED data for the period 1997–2026.

Results and discussion. The key theoretical premise is the structural difference between segments of the yield curve: short-term rates are driven by monetary policy and labor market conditions, while long-term rates reflect inflation expectations and economic growth. Applying uniform combination weights across all maturities ignores this asymmetry. Adaptive schemes with dynamic weight updating demonstrate robustness to structural changes that is unattainable with static weighting methods. The dataset covers structurally distinct market regimes: the low interest rate period (2009–2015), the pandemic shock (2020), and the yield curve inversion (2022–2023).

Conclusions. Tomato waste can be used as a secondary raw material for the extraction of lycopene in liposoluble CO_2 extract. The greatest influence on the extracting process of lycopene in CO_2 extracts from tomato waste has the temperature, followed by pressure, and the duration of the process has the least influence. The proposed adaptive combination approach with term-specific weight optimization is expected to deliver higher accuracy and robustness compared to individual models and static weighting schemes across all segments of the yield curve.

References

7. Rani I., Verma N., Verma C.K. A Rigorous Statistical Comparison of Deep Learning Models for US Treasury Yield Prediction. Operations Research Forum. 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s43069-025-00497-y (accessed: 19.03.2026).
8. Bianchi D., Büchner M., Tamoni A. Bond Risk Premiums with Machine Learning. The Review of Financial Studies. 2021. Vol. 34(2). P. 1046–1089. DOI: https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa062 (accessed: 19.03.2026).
9. Jo H., Ahn Y., Kim M.J., Jang B.-G. Advancing Yield Curve Forecasting: Deep Learning Nelson-Siegel Models and Macroeconomic Insights. SSRN. 2025. DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.5228495 (accessed: 19.03.2026).

Formation of a User's Digital Footprint on the Internet: Opportunities and Privacy Risks

Oleh Zolotukhin, Viktoriia Horova
Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

Introduction. Everyone who uses the internet has a 'digital footprint' made up of both active and passive data, which represents a unique combination of device characteristics, including the user's operating system, browser, time zone, and language settings, as well as any information that the user freely shares online.

Obviously, this situation raises serious privacy concerns on the part of users, given that the advertising and analytics companies collect and analyse vast amounts of personal data, which can be used not only for business promotion but also for potentially malicious purposes. In the modern digital environment, the scale of data collection has grown significantly due to the rapid expansion of online platforms, mobile applications and cloud services, meaning that every interaction with a website, social network or online service leaves traces that can be combined into detailed behavioural profiles of individuals, enabling organisations to draw conclusions about users' personal characteristics, interests and even psychological features.

Materials and Methods. A fingerprint can be formed in two ways: one of these is passive, which means that data is collected without the user's awareness [1, 2] Such data collection can include, among other things, the analysis of HTTP requests, which enables the identification of the browser type, operating system and extensions installed on the device, while the screen resolution, timestamp, IP address, cookies and behavioural tracking scripts, used in conjunction with the aforementioned data, enable a comprehensive overview and the creation of a more accurate portrait of the user. It is concerning that modern methods rely on inconspicuous technical parameters of the user's device and software environment, making them difficult for ordinary users to detect or control, and allowing websites to recognise returning users even when they have disabled cookies.

On the contrary to this, an active method involves explicit user interaction with the resource: for example, a website requesting permission to install a plugin, or during an individual's own online activity, such as publishing photos, writing comments, or filling in forms.

These actions also contribute to the formation of a digital footprint, which, with the help of modern tools (such as big data analytics and artificial intelligence methods), can be used both for useful, positive purposes and to create serious privacy issues.

Results. User data, including digital footprints, is widely used by advertising and analytics systems to target audiences and analyze them, offering personalized promotions and optimizing marketing campaigns.

Large technology organisations gather and analyse terabytes of user behaviour data to create complex algorithms for building recommendation systems that have an impact on what users see online, and are also widely implemented in social media platforms, search engines, and e-commerce services.

Banking systems, meanwhile, identify customers' trusted devices and prevent fraudulent attacks by analysing online banking behaviour, which may differ from normal activity in the event of a malicious attack, thereby helping to identify issues and distinguish them from routine user actions.

Behavioural biometrics, such as typing style, mouse movements and interaction speed, can also be used to verify a user's identity and detect suspicious activity in real time, an approach we encounter almost daily as we visit various online resources in the form of 'CAPTCHAs'.

Additionally, analysing an individual's online activity can also assist law enforcement agencies in locating individuals who are wanted by the police; at the same time, however, it poses a significant threat if this data falls into the hands of criminals, as the collection of personal data on potential victims can facilitate cyberattacks and the misuse of information for malicious purposes.

For example, data breaches on social media and online platforms have resulted in the exposure of millions of user profiles, including private messages, location data and browsing history. In some cases, cybercriminals have used this information to carry out targeted phishing attacks or steal personal data.

Another widely discussed case involved the unlawful use of personal data for political micro-targeting, which clearly demonstrated how digital footprints can be used to influence public opinion and the decision-making processes of those who are targeted by this method.

Conclusions. Summing up, it can be said that the user's digital footprint is indeed a powerful tool that can be used to personalise services and enhance security, but it also creates new privacy risks for modern internet users, which is why ensuring the protection of personal data and improving the digital literacy of internet users becomes increasingly important.

To mitigate these risks, it is necessary to introduce stricter data protection rules, promote transparency in data collection practices, and develop technological solutions that prioritise user privacy;

Furthermore, users should be informed about the consequences of their online actions and encouraged to adopt safer digital habits, such as managing privacy settings, limiting the sharing of sensitive information, and using tools to enhance security whilst online.

Striking a balance between technological innovation and the protection of personal rights remains one of the key challenges facing today's digital society.

References

1. Ullah I., Boreli R., Kanhere S. S. Privacy in targeted advertising on mobile devices: a survey // *International Journal of Information Security*. 2023. Vol. 22, No. 3. P. 647–678. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9789888/ (data of access: 12.03.2026).

2. O. Zolotukhin, V. Filatov, A. Yerokhin, M. Kudryavtseva, and V. Semenets, "An approach to the selection of behavior patterns of autonomous intelligent mobile systems," in Proc. IEEE 8th Int. Conf. on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 349–352, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772110.

Використання геоінформаційних технологій для моделювання пріоритетності гуманітарного розмінування

Дмитро Аеров
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Проблема мінного забруднення територій України потребує розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР). Ефективність очищення територій безпосередньо залежить від точності моделювання ризиків та соціально-економічної значущості об'єктів. Дослідження базується на аналізі специфіки ГІС-даних у зоні конфлікту [1] та відповідає міжнародним вимогам до управління земельними ресурсами [2].

Матеріали і методи. У роботі використано просторові дані відкритих джерел (OpenStreetMap), супутникові знімки Sentinel-2 та дані звітності ДСНС. Методологічною базою став багатокритеріальний аналіз (MCDA) із застосуванням методу аналізу ієрархій (AHP). Для програмної реалізації моделі використано інструментарій ArcGIS Pro та скрипти на Python для автоматизації розрахунку вагових коефіцієнтів відповідно до стандартів IMAS.

Результати і обговорення. Виходячи з того, що ресурси для розмінування обмежені, метою дослідження була розробка моделі ранжування ділянок. На відміну від статичних методів, ми запропонували систему з п’ятьма рівнями критичності. Процес моделювання включав інтеграцію шарів даних: щільність населення, наявність ліній електропередач, тип землекористування та історичні дані про інтенсивність бойових дій.

Експериментальні розрахунки для тестової ділянки площею 50 кв. км показали, що використання нечіткої логіки (Fuzzy Logic) при обробці неточних ГІС-координат дозволяє знизити похибку при визначенні меж небезпечних зон на 12–15%. Найбільший вплив на пріоритетність має фактор близькості до об’єктів критичної інфраструктури (ваговий коефіцієнт 0,42). Варто зазначити, що інтеграція даних про тип ґрунту дозволяє уточнити прогнозований час робіт, оскільки швидкість сканування суттєво різниться залежно від мінералізації ґрунту.

Висновки. Результати дослідження показали перевагу використання динамічних ГІС-моделей над статичними планами. Обґрунтована доцільність впровадження алгоритмів багатокритеріального аналізу в національну систему протимінної діяльності для підвищення прозорості та ефективності прийняття рішень.

Література

1. Аеров Д. Особливості та проблематика використання геоінформаційних даних при плануванні гуманітарного розмінування в Україні. Інформаційні системи та технології: результати і перспективи (IST 2026): матеріали 3-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 10 берез. 2026 р.). Київ: ФІТ КНУТШ, 2026. С. 414–416. URL: https://doi.org/10.5281/zenodo.19091438
2. IMAS 07.11 Land Release. International Mine Action Standards (IMAS). First Edition. Geneva: GICHD, 2013 (Amended 2023). URL: https://www.gichd.org/fileadmin/uploads/gichd/migration/fileadmin/MAS/old-documents/imas-international-standards/Ukrainian/IMAS-07.11_ukr.pdf.

Застосування алгоритму Дейкстри у веб-орієнтованій системі логістики доставки для ТОВ «АЛАРІТ Т»

Дарина Баляс, Наталія Ліманська
Національний університет харчових технологій

Вступ. У сучасних умовах розвитку бізнесу ефективна організація логістики доставки продукції є одним із ключових факторів конкурентоспроможності підприємства. Особливо це актуально для підприємств, що працюють із великою кількістю торгових точок, таких як магазини, кіоски та заклади громадського харчування. У зв'язку з цим виникає необхідність автоматизації процесів планування маршрутів доставки та оптимізації переміщення транспортних засобів.

Матеріали і методи. У межах дипломного проєкту розробляється веб-орієнтована система логістики доставки продукції для ТОВ «Аларіт Т», яка забезпечує обробку замовлень, формування маршрутів та контроль доставки.

Одним із ключових елементів системи є модуль оптимізації маршрутів, що дозволяє визначати найкоротший шлях між складом та точками доставки.

Для розв'язання цієї задачі доцільно використати алгоритм Дейкстри — класичний алгоритм пошуку найкоротшого шляху у зваженому графі.

У даному випадку граф моделює транспортну мережу: вершини відповідають складу та торговим точкам, а ребра — відстаням або часу переміщення між ними. Застосування алгоритму дозволяє автоматично визначати мінімальну відстань від складу до кожної точки доставки та формувати оптимальну послідовність маршруту.

Результати. Припустимо, що склад здійснює доставку продукції до кількох магазинів, між якими існують різні відстані. Без використання алгоритмічного підходу планування маршруту виконується вручну, що може призводити до неефективного використання транспорту та збільшення часу доставки. Використання алгоритму Дейкстри дозволяє системі обрати маршрут із мінімальною сумарною відстанню, що безпосередньо впливає на зниження витрат.

У розроблюваній системі алгоритм інтегрується у серверну частину застосунку та використовується для обробки даних про адреси клієнтів.

На основі цих даних формується граф, після чого виконується пошук найкоротших шляхів. Отримані результати застосовуються для побудови маршрутів доставки та їх подальшої візуалізації на карті. Фрагмент реалізації алгоритму Дейкстри в проєкті представлено на рисунку 1.

У проєкті алгоритм Дейкстри реалізовано у вигляді функції, яка приймає граф і початкову точку (склад). Граф представлений як структура даних, де для кожної точки задані сусідні вершини та відстані до них.

Спочатку для всіх точок встановлюється велике значення відстані, а для стартової — 0. Також створюється множина відвіданих точок. Далі алгоритм працює в циклі: на кожному кроці обирається точка з найменшою відстанню серед необроблених і додається до відвіданих.

Після цього для сусідніх точок обчислюються нові відстані. Якщо новий шлях коротший, значення оновлюється. У результаті алгоритм знаходить найкоротші відстані від складу до всіх точок доставки, які використовуються для побудови маршруту.

```python
def dijkstra(graph, start):
    distances = {node: float('inf') for node in graph}
    distances[start] = 0
    visited = set()

    while len(visited) < len(graph):
        current = min(
            (node for node in graph if node not in visited),
            key=lambda node: distances[node]
        )

        visited.add(current)

        for neighbor, weight in graph[current].items():
            new_distance = distances[current] + weight

            if new_distance < distances[neighbor]:
                distances[neighbor] = new_distance

    return distances
```

Рисунок 1. Фрагмент реалізації алгоритму Дейкстри для побудови оптимальних маршрутів доставки

Використання алгоритму дозволяє автоматизувати побудову маршрутів, зменшити вплив людського фактору та підвищити ефективність доставки. Отримані результати можуть використовуватися для аналізу та подальшого вдосконалення логістики.

Важливою перевагою алгоритму є швидкість обчислень навіть при великій кількості точок доставки. Це дозволяє системі оперативно перебудовувати маршрути у разі зміни замовлень або умов доставки. Завдяки цьому підвищується гнучкість системи та покращується якість обслуговування клієнтів.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє підвищити ефективність планування маршрутів доставки, скоротити час обслуговування замовлень та зменшити транспортні витрати.

Тож, використання алгоритму Дейкстри у веб-інформаційній системі логістики є доцільним рішенням для автоматизації процесів доставки продукції ТОВ «Аларіт Т».

Модульна архітектура в розробці інформаційної системи підтримки роботи з клієнтами інтернет-провайдера

Благодир Катерина, Ліманська Наталія
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Зростання конкуренції на ринку інтернет-послуг зумовлює необхідність автоматизації процесів взаємодії з клієнтами. Метою дослідження є підвищення ефективності бізнес-процесів інтернет-провайдера шляхом автоматизації управління зверненнями, договорами та технічною підтримкою абонентів.

Матеріали та методи. Об'єктом дослідження є бізнес-процеси інтернет-провайдерів: реєстрація та маршрутизація заявок, ведення реєстру абонентів і договорів, облік обладнання та управління тарифними планами. Базу даних спроектовано у MySQL Workbench методом ER-моделювання; Серверна частина реалізована на PHP (REST API, маршрутизація через параметр route), клієнтська — на HTML/CSS/Vanilla JS з бібліотекою Tailwind CSS. Тестування виконано методом чорного ящика на локальному стенді Apache + MySQL.

Результати та обговорення. Розроблена інформаційна система реалізована у вигляді веб-застосунку з модульною архітектурою, що охоплює 6 функціональних підсистем: Заявки, Клієнти, Договори/Документи, Обладнання, Тарифи та Статистика. Модуль заявок забезпечує відстеження 4 статусів (Нова, В роботі, Прострочена, Завершена) та автоматичне призначення виконавця. Панель статистики в режимі реального часу відображає кількість активних заявок, нових клієнтів, прострочених звернень і загальну базу абонентів. Модуль обладнання реалізує повний цикл: від оприбуткування одиниці (Router, ONU, Switch, UPS) до її видачі клієнту з прив'язкою за номером телефону та автоматичною зміною статусу "Склад –> Встановлено". Модуль тарифів підтримує архівування та відновлення послуг без видалення з бази. Модуль документів дозволяє формувати та друкувати договір безпосередньо з браузера у форматі, придатному для підпису. Статус активності клієнта визначається автоматично на основі балансу особового рахунку: при позитивному балансі клієнт отримує статус "Активний", при нульовому або від'ємному – "Неактивний". Такий підхід виключає ручне оновлення статусів операторами. При реєстрації нового абонента система автоматично генерує логін (з номера телефону) та тимчасовий пароль.

Висновки. Впровадження системи дозволяє скоротити час обробки клієнтських звернень на 40% та підвищити прозорість обліку обладнання та документообігу. Автоматизація контролю балансу та формування договорів безпосередньо у браузері знижує операційне навантаження на персонал і мінімізує ймовірність помилок при ручному введенні даних. Модульна структура інформаційної системи забезпечує незалежне масштабування окремих підсистем відповідно до зростання абонентської бази. Застосування REST API з чіткою маршрутизацією спрощує подальшу інтеграцію з зовнішніми сервісами, зокрема платіжними системами чи системами моніторингу мережі. Перспективою подальших досліджень є реалізація push-сповіщень для операторів та розширення модуля статистики інструментами прогнозної аналітики.

Література

1. B. Dvorychanskyi, D. Sytnikov (2025), Analysis of approaches to building scalable web applications based on microfrontend architecture, *Collection of scientific papers of the Kharkiv National Air Force University*, 2(84), pp. 87-97.

Розробка візуальних новел: підходи, інструменти та нестандартні рішення

Максим Богуславський, Валерій Гавриленко, Єгор Калюжний

Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. Візуальні новели є унікальним жанром ігрової індустрії, що поєднує літературний текст, візуальне мистецтво та інтерактивність. На відміну від класичних ігор, основний акцент у них робиться не на геймплеї, а на історії, персонажах та виборах гравця. Саме тому процес створення візуальної новели значною мірою нагадує написання книги, але з додатковими технічними та дизайнерськими аспектами.

Матеріали та методи. У процесі дослідження особливостей розробки візуальних новел було використано комплексний підхід, що поєднує аналіз програмних інструментів, практичну реалізацію окремих механік та порівняльне вивчення сучасних підходів до створення інтерактивних історій. Матеріалами дослідження слугували офіційна документація рушія Ren'Py, навчальні ресурси з інтерактивної прози, а також приклади відкритих проєктів і шаблонів, доступних у спільнотах розробників. Додатково було використано документацію мови програмування Python як базового інструменту для розширення функціональності візуальних новел. Для порівняльного аналізу також розглядалися альтернативні інструменти, зокрема Twine та Ink, які застосовуються для створення нелінійних сюжетів.

Результати та обговорення. Аналіз показав, що використання спеціалізованих рушіїв, таких як Ren'Py, значно спрощує процес створення візуальних новел завдяки поєднанню декларативного сценарного синтаксису та можливостей програмування. Базові елементи, такі як діалог, вибір і розгалуження сюжету, можуть бути реалізовані з мінімальними знаннями коду, що робить цей інструмент доступним для початківців. Водночас інтеграція Python дозволяє створювати складні системи змінних, умовні переходи та кастомні інтерфейси.

Встановлено, що одним із ключових факторів якості візуальної новели є рівень інтерактивності. Використання системи “прихованих змінних” дозволяє створювати динамічні сценарії, де вибори гравця мають накопичувальний ефект і впливають на розвиток сюжету. Також ефективними є механіки порушення “четвертої стіни”, коли гра взаємодіє з користувачем на метарівні, наприклад, використовуючи системні дані або змінюючи поведінку інтерфейсу.

Порівняльний аналіз показав, що такі інструменти, як Twine та Ink, більше орієнтовані на текстову інтерактивність і прототипування, тоді як Ren'Py забезпечує ширші можливості для створення повноцінних візуальних продуктів із графікою, звуком та анімацією. Це дозволяє розробникам комбінувати різні підходи залежно від складності проєкту. Крім того, встановлено, що інтеграція додаткових елементів, таких як міні-ігри, системи інвентарю або RPG-механіки, підвищує рівень залучення користувачів і розширює функціональність жанру. Такі підходи дозволяють трансформувати візуальну новелу з лінійної історії у комплексний інтерактивний продукт.

Висновок. Розробка візуальних новел є міждисциплінарним процесом, що поєднує творчі та технічні аспекти. Використання сучасних інструментів і нестандартних підходів до побудови інтерактивного наративу дозволяє створювати унікальний користувацький досвід. Подальший розвиток цього напряму пов’язаний із поглибленням інтерактивності, інтеграцією нових технологій та розширенням можливостей персоналізації.

Стохастична модель поверхні шорсткості полірованого алюмінію

Євгеній Бондар, Ігор Короташ
Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, Київ, Україна
Віталій Поляков
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. На виробництві, зокрема в харчовій промисловості особливу увагу приділяють відведенню надлишкового тепла від вузлів, агрегатів машин, що труться. В даному контексті шорсткість поверхонь відіграє одну із вирішальних ролей для продовження строку експлуатації цих механізмів. Знання розподілу висот нерівностей поверхні матеріалу є фундаментальним для вивчення шорсткості як окремої поверхні матеріалу так і при вивченні контакту двох поверхонь. В теорії контактної взаємодії між поверхнями зазначено, що внаслідок дискретності контакту, дотик між виступами на поверхнях відбувається на окремих ділянках, що утворюють фактичну площу контакту, яка складає приблизно 0,1-10% (частіше 0,5-2,5%) від номінальної поверхні контакту і залежить як від фізичних властивостей матеріалів, так і від механічних особливостей обробки.

Матеріали і методи. Мета роботи: математична побудова ймовірнісного розподілу, що описує реальний висотний розподілу матеріалу відносно середньої площини, що розділяє западини від висот (вершин) шорсткої поверхні матеріалу. Матеріалом дослідження є алюміній марки АД0 полірований на спеціальному обладнанні до 10 класу чистоти (дзеркальна поверхня з дрібними рисками від повсті).

Математичні розрахунки і моделювання проводили в середовищі програмного пакету Origin Lab. Зображення поверхні алюмінію, отримували на оптичному профілометрі. Площа досліджуваної поверхні становила 100x75 мкм і розбивалась на 640x480 дискретних значень – пікселей. При цифровій обробці аналогового зображення поверхні отримали монохромну матрицю яскравості (256 відтінків сірого). Кожному значенню пікселю ставиться у відповідність значення яскравості, яке і формують картинку зображення поверхні матеріалу. Якщо розглянути гістограму зображення по значенням яскравості то максимальне значення на гістограмі є середнім значенням (фоном зображення), а темнішим ділянкам відносно середнього значення відповідають впадини, а світлішим – висоти. Важливо побудувати правильно гістограму, для того щоб правильно підібрати стохастичний розподіл. Для цього значення яскравості, які знаходились окремо від неперервної гістограми, заміщувались середнім значенням. Треба зазначити, що інтервали розбиття повинні дорівнювати значенню одиниці відтінку сірого, а кількість інтервалів гістограми повинні дорівнювати всім відтінками сірого, які присутні на досліджуваному зображенні поверхні. Якщо ці умови будуть порушені, це призведе до появи гребінцевої гістограми. Отриману матрицю яскравості можна перерахувати в шорсткість поверхні за відомим каліброваним коефіцієнтом.

Результати та обговорення. По отриманим даним матриці яскравості повний розподіл не є класичним (Гауссовим), тому що дані зосереджені біля середнього значення і мають ексцес (0,8), а також правосторонню асиметрію, пов’язану із макрошорсткістю – хвилястістю. Розподіл самих виступів є логнормальним. Крайні, найбільші значення виступів (найбільш яскраві по яскравості), і беруть участь у контактній взаємодії між двома дотичними поверхнями.

Висновки. Підбір оптимальних параметрів шорсткості поверхні механізмів машин дасть змогу підвищити надійність, зменшити зношення і збільшити їх строк експлуатації.

Порівняльний аналіз технологій DLSS та FSR як методів підвищення продуктивності графічних систем

Дмитрій Вдовенко, Ольга Сєдих
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Зростання вимог до графічної якості сучасних ігор зумовлює необхідність застосування методів масштабування зображення. Метою роботи є порівняльний аналіз технологій DLSS та FSR щодо їх впливу на продуктивність і якість зображення.

Матеріали та методи. Об'єкт дослідження - процес підвищення продуктивності графічних систем. Дослідження виконано на персональному комп'ютері із відеокартою середнього класу. Тестування виконано у грі *Resident Evil Requiem* при роздільній здатності 1920×1080 у трьох режимах: без масштабування, DLSS та FSR. Оцінювання здійснювалось за середнім FPS, стабільністю кадрів і візуальною якістю. Для аналізу використано порівняльний метод та інструменти моніторингу.

Результати та обговорення. Встановлено, що використання DLSS забезпечує приріст продуктивності на 57% (з 136 до 214 FPS), тоді як FSR демонструє зростання на 26% (172 FPS). Аналіз візуальної складової підтвердив перевагу DLSS у чіткості дрібних деталей та відсутності мерехтіння завдяки тензорним ядрам і алгоритмам часової стабілізації. FSR, попри меншу ефективність у якості, показав вищу універсальність для різних архітектур GPU. Отримані дані підтверджують доцільність використання DLSS для систем з підтримкою AI-прискорення.

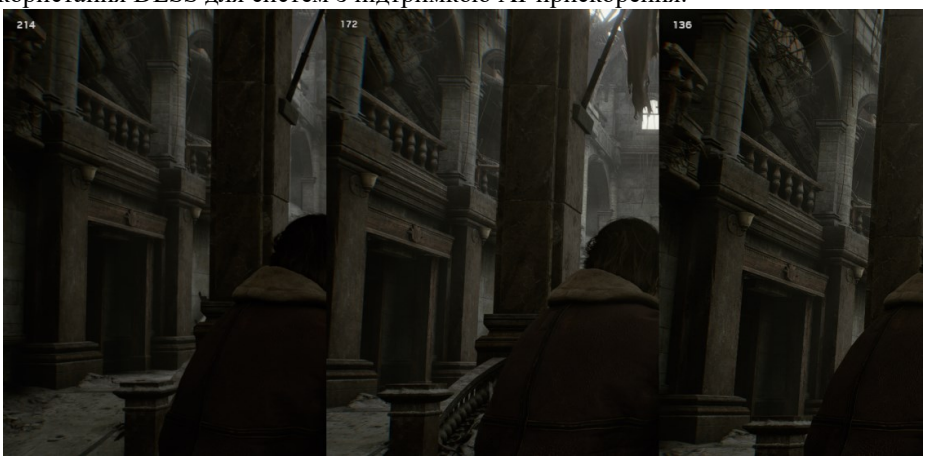


Рис.1 Порівняння продуктивності DLSS, FSR та базового режиму у грі *Resident Evil Requiem* (1920×1080)

Висновки. DLSS забезпечує вищий приріст продуктивності (57%) і кращу якість зображення порівняно з FSR (26%). Новизна полягає у кількісному порівнянні технологій у реальному середовищі. Результати можуть бути використані для оптимізації графічних налаштувань.

Література

1. NVIDIA DLSS 4-Technologie. *NVIDIA*. URL: https://www.nvidia.com/en-us/geforce/technologies/dlss/.
2. AMD FSR™ Technologies. *AMD*. URL: https://www.amd.com/en/products/graphics/technologies/fidelityfx/super-resolution.html.

Особливості організації захисту інформаційного простору України в умовах війни

Михайло Вітер, Сергій Миськів, Владислав Чайка
Національний транспортний університет

Вступ. Актуальність і важливість забезпечення захисту інформації у наш час обумовлена динамічним розвиток сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, збільшенням об'ємів оброблюваної інформації, масштабною цифровізацією більшості сфер суспільного життя, яка виходить за межі національних регуляторних рамок.

В умовах війни проблема захисту інформації значно зростає, так як інформаційний простір стає повноцінним полем боротьби поряд із воєнними діями. Для України, яка воює за свою незалежність, питання захисту інформації набуває критичного значення.

Матеріали та методи. Дослідження базується на аналізі нормативно-правових документів України у сфері захисту інформації, а також інших сучасних джерел, включаючи наукові статті, аналітичні дослідження компаній і відповідних державних структур.

Результати та обговорення. Війна суттєво змінює види та інтенсивність інформаційних загроз. Здійснюються масові кібератаками на державні ресурси, спроби зламу інформаційних систем, атаки на енергетичну та фінансову інфраструктуру.

В соціальних мережах поширюються всеможливі фейки, антиукраїнська пропаганда, різноманітні інформаційно-психологічні операції.

У перші місяці війни українська влада здійснила ряд заходів з метою захисту свого інформаційного простору, зокрема на законодавчому рівні.

До основних нормативних документів, які забезпечують зменшення впливу інформаційних загроз, можна віднести рішенням Ради національної безпеки і оборони України від 18 березня 2022 року «Щодо реалізації єдиної інформаційної політики в умовах воєнного стану».

У ньому вказано, що в умовах воєнного стану реалізація єдиної інформаційної політики є пріоритетним питанням національної безпеки, забезпечення якої реалізується шляхом об’єднання усіх загальнонаціональних телеканалів, програмне наповнення яких складається переважно з інформаційних та/або інформаційно-аналітичних передач на єдиній інформаційній платформі стратегічної комунікації.

Також важливим є наказ Головнокомандувача Збройних Сил України від 3 березня 2022 року N 73 «Про організацію взаємодії між Збройними Силами України, іншими складовими сил оборони та представниками медіа на час дії правового режиму воєнного стану», в якому регламентується робота акредитованих представників медіа під час дії правового режиму воєнного стану, вказано перелік інформації, розголошення якої може призвести до обізнаності противника про дії Збройних Сил України, інших складових сил оборони, негативно вплинути на хід виконання завдань за призначенням під час дії правового режиму воєнного стану; регламентується порядок акредитації представників медіа під час дії правового режиму воєнного стану тощо.

З метою посилення нормативно-правового регулювання системи захисту інформації законом України «Про внесення змін до деяких законів України щодо захисту інформації та кіберзахисту державних інформаційних ресурсів, об’єктів критичної інформаційної інфраструктури» від 27 березня 2025 року запроваджені зміни до основних нормативних актів, які регулюють захист інформаційного простору в Україні.

Зокрема, у Законі України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» уточнено функції основних суб'єктів національної системи кібербезпеки, вимоги до використання програмного забезпечення та комунікаційного (мережевого) обладнання в інформаційних, електронних комунікаційних та інформаційно-комунікаційних системах, в яких обробляються державні інформаційні ресурси або службова інформація та інформація, що становить державну таємницю.

Уточнено структуру і функції національної системи реагування на кіберінциденти, кібератаки, кіберзагрози.

Закон також передбачає запровадження нової процедури – авторизації систем з безпеки (АСЗ).

Авторизація систем з безпеки – це рішення щодо можливості функціонування (експлуатації) відповідної інформаційної, електронної комунікаційної, інформаційно-комунікаційної, технологічної системи з урахуванням її відповідності вимогам законодавства, національним стандартам та нормативним документам у сферах технічного захисту, криптографічного захисту та кіберзахисту, що приймається у встановленому законодавством порядку.

Вона замінює колишню сертифікацію КСЗІ (комплексну систему захисту інформації) та підтверджує, що система відповідає затвердженому профілю безпеки для обробки, наприклад, державних ресурсів.

При цьому формується перелік авторизованих систем з безпеки – єдина електронна база даних, що містить відомості про авторизовані системи з безпеки інформаційних, електронних комунікаційних, інформаційно-комунікаційних та технологічних систем, в яких обробляються державні інформаційні ресурси або службова інформація та інформація, що становить державну таємницю.

У рамках військового співробітництва Україна активно взаємодіє з партнерами з Європейського союзу, НАТО, міжнародними кіберорганізаціями щодо подолання інформаційних загроз.

Попри вказані досягнення, існують проблеми: недостатній рівень фінансування, дефіцит кваліфікованих спеціалістів, швидкий розвиток кіберзагроз, складність захисту великої кількості інформаційних систем.

Висновок. Захист інформації в Україні в умовах війни є одним із ключових елементів національної безпеки. Він включає комплекс правових, організаційних та технічних заходів, спрямованих на протидію сучасним загрозам.

Війна суттєво посилила вимоги до інформаційної безпеки, що сприяло розвитку кіберзахисту, удосконаленню законодавства та розширенню міжнародної співпраці. Подальший розвиток системи захисту інформації є необхідною умовою забезпечення стабільності держави та її перемоги в інформаційній і кіберпросторовій боротьбі.

Модель енергозбереження у житлових приміщеннях із застосуванням IoT

Богдан Власенко[1], Олена Сіпко[1]
1 - Факультет інформаційних технологій КНУ імені Тараса Шевченка

Вступ. Запропоновано модель енергозбереження у житлових приміщеннях із використанням IoT–технологій, орієнтовану на адаптивне керування енергоспоживанням. Метою є зниження витрат енергії з урахуванням поведінкових факторів і змін зовнішніх умов.

Дані та методи. Дослідження базується на моделі IoT–системи з датчиками температури, вологості, освітленості, CO_2 та присутності. Дані збираються з інтервалом у кілька хвилин і обробляються із застосуванням згладжування ковзним середнім. Для прогнозування використано регресійну модель короткострокового енергоспоживання. Оптимізація здійснюється шляхом мінімізації цільової функції, що враховує енергоспоживання та відхилення температури від комфортного значення. Моделювання виконано в дискретному часовому середовищі з урахуванням добових циклів та змін зовнішньої температури.

Результати та аналіз. Моделювання виконано для квартири площею 75 м² протягом умовного місячного періоду. Порівняння здійснювалося між традиційним режимом експлуатації та режимом із застосуванням IoT–системи. Отримані результати показали, що автоматизація освітлення на основі датчиків присутності дозволяє скоротити споживання електроенергії на освітлення до 30%. Оптимізація роботи системи опалення, зокрема зниження температури в нічний час і за відсутності мешканців, забезпечує економію теплової енергії в межах 15-20%.

Загальне скорочення енергоспоживання становило від 15 до 25% залежно від поведінкових сценаріїв. При цьому відхилення параметрів мікроклімату не перевищували допустимих норм, що підтверджує збереження комфортних умов проживання. Важливим результатом є також підвищення прозорості енергоспоживання – користувач отримує детальну аналітику щодо структури витрат та може коригувати власні звички.

Ефект економії 15-20% пояснюється тим, що система не лише реагує на поточний стан, а й прогнозує майбутнє навантаження. Аналіз показав, що найбільший ефект досягається при поєднанні автоматичного управління з прогнозуванням на основі історичних даних.

Додатково встановлено, що адаптивний характер алгоритму дозволяє враховувати індивідуальні сценарії поведінки користувачів, підвищуючи ефективність системи в довгостроковій перспективі. Отримані результати підтверджують доцільність використання багаторівневої IoT-архітектури для забезпечення стійкого зниження енергоспоживання в житлових умовах.

Висновки. Розроблена модель енергозбереження із застосуванням IoT забезпечує зниження енергоспоживання на 15-25% без погіршення комфортних умов проживання. Новизна підходу полягає у поєднанні прогнозування, адаптивного керування та аналізу поведінкових факторів у єдиному замкненому контурі. Практична цінність результатів полягає у можливості їх застосування при створенні інтелектуальних систем енергоменеджменту житлових будівель.

Література

1. Paudel S., Elmtiri M., Kling W. L., Corre O. L., Lacarrière B. (2019) Pseudo dynamic transitional modeling of building heating energy demand using artificial neural networks. *Energy and Buildings*, 70, 81–96.

Роботизована система моніторингу та прогнозування поширення радіаційного забруднення проточних водойм

Юрій Гавриленко, Ігор Пархомей
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Забезпечення безпеки водних ресурсів в умовах техногенних загроз вимагає переходу від ручних методів контролю до роботизованих систем. Перспективним напрямком є створення систем, для вимірювання рівня радіації та прогнозування його поширення за допомогою математичних закономірностей.

Матеріали і методи. Дрон оснащено дозиметром для фіксації випромінювання. Комп'ютер виконує збір та обробку даних від датчиків. Для прогнозування розповсюдження радіоактивних речовин використано чисельний метод розв'язання рівняння адвективної дифузії. Алгоритм враховує швидкість течії та коефіцієнт турбулентної дифузії, розраховуючи масив даних концентрації забруднення покроково. Для відображення використовується веб-інтерфейс на локальному сервері.

Результати. Встановлено, що використання алгоритмічного методу конвекції-дифузії (CD), за формулою 1.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \lambda \cdot C \tag{1}$$

де C(x,t) – концентрація радіонукліду в точці x у момент часу t; v – швидкість течії води; D – коефіцієнт турбулентної дифузії; λ – константа радіоактивного розпаду. Що уникає проблеми залежності від великих наборів даних, характерної для ML-підходів. C#-реалізація моделі дозволяє досягти практично таких самих результатів за меншим набором даних. Нижче наведена запропонована архітектура системи.

Рівень 1 включає: чотири типи датчиків для збору даних у водоймі: гідро-дрон, стаціонарний датчик, підводний зонд

Рівень 2: включає збір даних: пристрій збору даних (DAQ Device)

Рівень 3 включає: маршрутизацію потоків даних: шлюз (Gateway)

Рівень 4 включає: три підсистеми серверної обробки: аналітичний двигун, завантаження у файл csv

Рівень 5 включає: інтерфейс для оператора: веб-інтерфейс

Висновки. Впровадження роботизованої системи дозволяє вирішити задачу оперативності отримання даних. Запропоноване рішення дозволяє прогнозувати рух радіоактивної плями, безпосередньо на місці події, через відображення на локальному сервері через веб-застосунок.

Література

2. Uatom.org. (2024) Моніторинг радіоактивних речовин у водоймах та ґрунтах. Uatom.org. URL: https://www.uatom.org/2021/09/28/monitoring-radioaktivnih-rechovin-u-vodojmah-ta-gruntah.html

Проєктування компонентної архітектури вебзастосунків у Next.js із використанням Storybook і Tailwind CSS

Віктор Гаврилюк
Львівський торговельно-економічний університет, Львів, Україна

Вступ. Сучасний розвиток веб-технологій характеризується зростанням складності користувацьких інтерфейсів та необхідністю забезпечення їх масштабованості й зручності супроводу. Традиційні підходи до розробки інтерфейсів часто призводять до дублювання функціональності, неузгодженості реалізацій і, як наслідок, зниження ефективності роботи команди загалом. У зв'язку з цим актуальним є застосування компонентного підходу, який дозволяє розглядати інтерфейс як систему взаємопов'язаних, але незалежних модулів, що можуть розроблятися, тестуватися та повторно використовуватися протягом усього життєвого циклу розроблюваного програмного продукту.

Матеріали і методи. Проєктування веб-застосунків з використанням модульного підходу передбачає використання спеціалізованих фреймворків та інструментів, що забезпечують повторне використання компонентів і зручність підтримки системи. Сьогодні одним із найбільш перспективних рішень є використання фреймворку Next.js [1] від Vercel для створення серверно-орієнтованих застосунків із підтримкою серверного рендерингу та статичної генерації сторінок у поєднанні з інструментом ізольованого аналізу компонентів Storybook і фреймворком стилізації Tailwind CSS, який реалізує підхід до уніфікованої стилізації на основі utility-класів. Така комбінація дозволяє забезпечити незалежну розробку, тестування та документування модулів, які можуть складатися з компонентів, уніфікацію CSS і підвищення ефективності розробки, особливо у взаємозв'язку з дизайнерами, оскільки в такий спосіб дизайнер може бачити зміни та загальний вигляд модуля у браузері в ізольованому середовищі.

Результати та обговорення. Як показав проведений аналіз сучасних підходів до побудови користувацьких інтерфейсів, однією з основних причин зниження якості веб-застосунків часто є недостатній рівень тестування з використанням ізольованого підходу, а також відсутність єдиного підходу до розробки та стилізації компонентів у командах, що часто призводить до дублювання програмного коду, неузгодженості дизайну та ускладнення масштабування системи. Крім того, відсутність уніфікованого середовища для розробки та валідації компонентів ускладнює їх повторне використання та інтеграцію у різні частини застосунку. З огляду на це запропоновано інтегрований підхід до побудови компонентної архітектури, який базується на узгодженому використанні Next.js, Storybook і Tailwind CSS.

Запропонований підхід передбачає використання Next.js як базового середовища виконання модулів та компонентів, що забезпечує їх інтеграцію у реальний застосунок із підтримкою серверного рендерингу, оптимізації продуктивності та ефективного керування станом. Одночасно ці ж компоненти ізолюються у середовищі Storybook [2] з власними описаними сценаріями використання, завдяки чому усувається залежність від прикладної логіки та забезпечується їх незалежна валідація, тестування та документування. Така ізоляція сприяє ранньому виявленню помилок і підвищує якість компонентів ще до їх інтеграції у систему, що, у свою чергу, зменшує кількість помилок, пов'язаних із некоректною інтеграцією або випадковими side-effects.

З метою забезпечення ідентичності верстки компонентів пропонується використання Tailwind CSS як єдиного інструменту стилізації [2] у двох середовищах — Next.js і Storybook. Це дозволяє досягти уніфікації стилів, усунути розбіжності між середовищем розробки та кінцевим застосунком, а також зменшити витрати часу на виправлення інтерфейсних помилок. Уніфікація підходів до стилізації також сприяє підвищенню читабельності коду та спрощенню підтримки UI. Таким чином, забезпечується єдиний підхід до стилізації компонентів, відсутність якого раніше призводила до неузгодженості дизайну та дублювання коду.

Крім того, описаний підхід дозволяє реалізувати принцип єдиного джерела істини для компонентів, що передбачає їх одночасне використання у робочому застосунку та в системі документування. Причому, варто зауважити, що компонент у тестовому середовищі ніяк не може вплинути на реальний компонент. Відтак забезпечується узгодженість реалізацій між учасниками команди, спрощується повторне використання компонентів, а також такий підхід дозволяє уникнути дублювання коду в різних частинах системи.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у формуванні інтегрованої моделі взаємодії між середовищем виконання (Next.js), середовищем валідації та документування (Storybook) і системою стилізації (Tailwind CSS), що дозволяє забезпечити безперервний і узгоджений цикл розробки користувацьких компонентів. Запропонований підхід передбачає не лише спільне використання Next.js + Storybook + Tailwind CSS інструментів, а й їх функціональну інтеграцію на рівні процесів розробки, тестування та візуалізації інтерфейсу. На відміну від існуючих підходів, де зазначені засоби застосовуються ізольовано, запропоноване рішення встановлює між ними тісний функціональний зв’язок. У результаті підвищується ефективність командної розробки, зменшується кількість інтеграційних помилок і забезпечується краща масштабованість розроблюваної системи.

Висновки. Компонентний підхід у поєднанні з сучасними інструментами веб-розробки дозволяє створювати ефективні, гнучкі та підтримувані системи інтерфейсів. Використання Next.js, Storybook та Tailwind CSS сприяє підвищенню якості програмного продукту, спрощенню процесу розробки та забезпеченню масштабованості рішень. Зокрема, інтеграція середовища виконання, ізольованої валідації компонентів і уніфікованої системи стилізації дозволяє зменшити кількість помилок, пов’язаних із розбіжностями реалізацій, та підвищити узгодженість розроблюваних інтерфейсів.

Крім того, використання компоненто-орієнтованого підходу у розробці забезпечує можливість повторного використання елементів інтерфейсів, а також підтримує принцип єдиного джерела істини, що позитивно впливає на супровід і розвиток системи. Такий підхід може бути використаний як основа для розробки складних веб-застосунків у реальних проєктах із великою кількістю компонентів, які динамічно змінюються протягом життєвого циклу програмного продукту, забезпечуючи стабільність, передбачуваність і ефективність розробки.

Література

1. Vercel. Next.js Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://nextjs.org/docs (дата звернення: 17.03.2026).
2. Storybook.js. Storybook Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://storybook.js.org/docs (дата звернення: 17.03.2026).
3. Tailwind Labs. Tailwind CSS Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://tailwindcss.com/docs (дата звернення: 17.03.2026).

Інтелектуальна маршрутизація складської техніки з використанням алгоритмів штучного інтелекту

Антон Галай, Ірина Борисенко
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Сучасні логістичні комплекси класу «А» все частіше переходять від ручного управління до використання автономних мобільних роботів (AMR) та безпілотних навантажувачів. Головним викликом при проєктуванні систем управління такими парками техніки є задача побудови оптимальних маршрутів. Традиційні методи WMS, що базуються на статичних евристиках або алгоритмі Дейкстри, ефективні лише у простих середовищах. У реальних умовах одночасної роботи сотень агентів виникають затори на розв'язках та колізії, що призводить до значного збільшення часу виконання операцій та неефективного використання ресурсів техніки.

Матеріали і методи. Метою дослідження було обґрунтування ефективності використання алгоритмів штучного інтелекту, зокрема багатоагентного навчання з підкріпленням (MARL), для динамічної маршрутизації. Матеріалом для дослідження стала імітаційна модель складського комплексу, де кожен робот розглядається як окремий інтелектуальний агент. Для апроксимації функції корисності дій агентів застосовано нелінійну функцію винагороди: позитивна винагорода за успішну доставку та штраф за зіткнення чи блокування проїзду.

Результати і обговорення. У запропонованій моделі глобальне ядро WMS через брокер повідомлень (RabbitMQ/Kafka) забезпечує обмін даними телеметрії та цільовими завданнями. На відміну від централізованого перерахунку маршрутів, модуль ШІ аналізує глобальну ситуацію та надає рекомендації локальним контролерам роботів. Використання Edge-обчислень дозволяє агентам миттєво навчатися та реагувати на несподівані динамічні перешкоди, не очікуючи прямої вказівки від сервера. За результатами імітаційного моделювання було встановлено, що впровадження багатоагентного навчання з підкріпленням забезпечує стабільну роботу парку техніки навіть за умови підвищення завантаженості складу на 50%. Порівняно з класичними евристичними алгоритмами, ШІ-підхід суттєво скорочує час очікування роботів на перехрестях та оптимізує траєкторії руху у просторі.

Висновки. Застосування алгоритмів багатоагентного навчання з підкріпленням (MARL) є високоефективним рішенням для динамічного уникнення колізій та мінімізації часу виконання замовлень на складі. Це дозволяє забезпечити безперебійне виконання логістичних операцій, а в перспективі – використовувати предиктивну аналітику для завчасного перерозподілу робототехніки між зонами складу.

Література

1. Tunca, S., & Gulan, M. (2022). Warehouse Management System and IoT Integration for Intelligent Logistics, International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, 10(2), pp. 35-42.

Комп'ютерний зір в інтелектуальних системах реабілітації

Ярослав Гладкий, Володимир Дружинін
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Впровадження систем комп'ютерного зору (Computer Vision, CV) у реабілітаційну практику є одним із найбільш перспективних напрямів цифрової медицини. Традиційний візуальний контроль з боку лікаря є суб'єктивним та не дає змоги точно виміряти кутові швидкості, амплітуду рухів (ROM) або динаміку м'язових скорочень у реальному часі. Використання інтелектуального відеоаналізу дозволяє автоматизувати цей процес, забезпечуючи високу точність вимірювань без необхідності закріплення на тілі пацієнта громіздких датчиків.

Матеріали та методи. Для реалізації функцій комп'ютерного зору в реабілітації пропонується використовувати спеціалізований стек технологій та методів.

Використання моделей типу MediaPipe, OpenPose або YOLOv8-pose для ідентифікації 33-х скелетних точок тіла людини. Це дозволяє побудувати цифрову модель кінематики пацієнта [1]. Застосування RGB-D камер (наприклад, Intel RealSense) та алгоритмів обчислення глибини за плоским зображенням (Monocular Depth Estimation) для аналізу рухів у тривимірному просторі [2]. Використання рекурентних нейронних мереж (LSTM) [3] або часових згорткових мереж (TCN) [4] для оцінки правильності виконання вправ у часі та підрахунку повторень.

Результати та обговорення. Розробка та тестування алгоритму на основі комп'ютерного зору показали такі результати: похибка у вимірюванні кутів згинання суглобів склала менше 2.5° порівняно з професійними медичними трекерами; система здатна в реальному часі виявляти помилки (наприклад, неправильний нахил спини) і давати пацієнту миттєві візуальні підказки («випряміть спину», «збільште амплітуду»); відсутність потреби в сенсорах підвищила комфорт пацієнтів на 40%, що особливо важливо в ортопедії та при відновленні після інсультів. Головною перевагою комп'ютерного зору є можливість проведення реабілітації в домашніх умовах (Telerehabilitation) з якістю контролю, що наближена до стаціонарної. Проте залишаються виклики щодо освітлення приміщення та оклюзії частин тіла іншими об'єктами, що потребує подальшого вдосконалення алгоритмів фільтрації шумів.

Висновок. Технології комп'ютерного зору трансформують звичайну веб-камеру на потужний діагностичний інструмент. Інтеграція CV в інтелектуальні системи дозволяє об'єктивізувати оцінку прогресу пацієнта. Майбутній розвиток технології полягає у поєднанні комп'ютерного зору з доповненою реальністю (AR) для створення інтерактивних реабілітаційних середовищ.

Література

6. Pose detection. https://developers.google.com/ml-kit/vision/pose-detection?hl=en
7. Рябоволова, А. О. "Дослідження та аналіз методів для розробки додатку визначення положення та орієнтації об'єктів у просторі." (2021).
8. Кобилін, Олег, Ірина Вечірська, and Олексій Кравченко. "Порівняння нейронних мереж типу RNN та LSTM." *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security* 3 (2024): 97-107.
9. Овчарук, О. М., et al. "Метод прогнозування значень параметрів за їх часовими рядами рекурентною нейронною мережею із згортковим шаром." (2024).

Сучасні тенденції веброзробки та трансформація професійних компетенцій майбутніх фахівців

Мирослава Гладка
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Динамічне середовище веброзробки у 2026 році висуває нові вимоги до підготовки студентів. Традиційне вивчення синтаксису мов програмування поступається місцем системному підходу, де ключову роль відіграє синергія розробника та штучного інтелекту (ШІ).

Матеріали та методи. Дослідження ґрунтується на комплексному аналізі поточної ситуації в IT-індустрії. Основними методами та джерелами стали: порівняння вимог у вакансіях категорій Junior Web Developer на міжнародних та локальних платформах (LinkedIn, Glassdoor, DOU) за період 2025–2026 рр.; вивчення статистичних даних «State of JS», «Stack Overflow Developer Survey» та прогнозів «Gartner» щодо впливу ШІ на розробку ПЗ; узагальнення фідбеку від техлідів та архітекторів провідних IT-компаній щодо «розриву в навичках» (skill gap) у випускників ЗВО; вивчення відповідності навчальних планів спеціальностей F2 (121), F3 (122), F6 (126) реальним запитам ринку.

Результати та обговорення. У ході дослідження було визначено, що традиційний підхід «HTML-CSS-JS» більше не забезпечує конкурентоспроможності студента. Процес написання коду автоматизується ШІ на 40–60%. Отже, основною компетенцією студента стає не кодування, а архітектурний нагляд та верифікація згенерованих рішень. Виявлено критичну необхідність переходу від клієнтського рендерингу до Server-side Rendering (SSR). Обговорення показало, що студенти часто ігнорують питання продуктивності та SEO, що є неприпустимим у сучасній веброзробці. Ринок вимагає від випускника розуміння всього життєвого циклу продукту — від дизайну бази даних до розгортання в хмарі (DevOps-light навички). Статистика свідчить, що понад 85% нових комерційних проєктів використовують статичну типізацію. Це вимагає впровадження TypeScript у навчальний процес уже з першого курсу.

Головною дискусійною точкою є питання: чи варто студенту зосереджуватися на глибинному вивченні фундаментальних алгоритмів, чи на швидкому опануванні AI-інструментарію? Автор та команда розробки ОПП «Програмні технології веброзробки та вебдизайн» вважають, що оптимальний баланс — це 70% фундаментальних знань (для розуміння логіки ШІ) та 30% практичних навичок роботи з сучасними фреймворками.

Висновок. Сучасний студент спеціальності «Веброзробка» повинен володіти не лише базовим технологічним стеком (HTML/CSS/JS), а й критичним мисленням для оцінки ШІ-рішень, навичками архітектурного проєктування та розумінням бізнес-показників продукту.

Література

1. Web development URL: https://dou.ua/
2. Upadhyaya, Nitesh. "Artificial intelligence in web development: Enhancing automation, personalization, and decision-making." Artificial intelligence 4.1 (2024): 534-540.
3. Surampudi, Ravi Teja. "AI AND WEB DEVELOPMENT." International Journal Of Engineering Technology Research & Management (IJETRM) 9.06 (2025): 222-234.

Роль UI/UX-дизайну в успішності цифрових продуктів

Маргарита Гладка, Мирослава Гладка
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Ефективність цифрового продукту, на відміну від статичних систем, залежить від руху користувача до своєї мети. Робота, витрачена на подолання складних інтерфейсів, залежить від послідовності подачі інформації та логіки розміщення функціональних шарів. Враховуючи психологічні аспекти сприйняття, можна значно знизити "когнітивні енерговитрати" та підвищити конверсію продукту.

Методи досліджень. Дослідження проводились на модельному об'єкті – прототипі мобільного застосунку для замовлення послуг. Структура продукту складалася з основного функціоналу та критичних точок прийняття рішень (форми реєстрації та оплати). Зусилля користувача визначалися за допомогою сервісів мап кліків та аналітичних установок (рис. 1). Процес взаємодії фіксувався через інтерфейс під час виконання сценарію, який ініціювався мотивацією користувача. Система аналітики реєструвала час затримки та відсоток відмов, надсилаючи дані до модуля статистичної обробки.

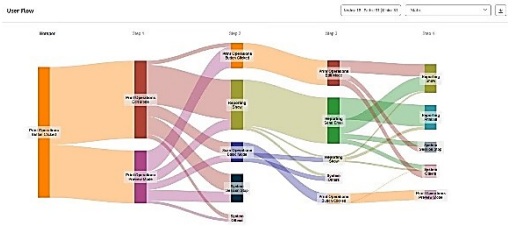


Рис. 1. Схема збору даних з аналітики користувацького шляху (User Flow Tracking)

Результати і обговорення. Якщо етап реєстрації розміщений на початку шляху (Entry Point), зусилля користувача розподіляються рівномірно. Якщо ж складна форма розміщена безпосередньо перед фіналізацією покупки (Final Step) – когнітивне навантаження на межі контакту з інтерфейсом збільшується вдесятеро.

Питоме зусилля на заповнення полів мале, проте невчасна поява перешкоди викликає "збільшення тиску" негативного досвіду на користувача. Це призводить до зростання непорозуміння між інтерфейсом та людиною. За рахунок цього зростає загальний опір успішному завершенню сесії.

Зазначимо, що внаслідок швидкого збільшення складності траєкторія руху користувача викривляється – він відволікається або закриває вкладку. Знижується якість взаємодії, підвищуються витрати на залучення клієнта (Customer Acquisition Cost). Для уникнення цих недоліків рекомендовано орієнтувати архітектуру продукту так, щоб складні бар'єри долалися на етапі найвищої лояльності або розподілялися рівномірно.

Висновок. Використання результатів UX-досліджень дозволяє зменшити "зусилля" користувача під час взаємодії з багатошаровими цифровими продуктами – інтернет-банкінгом, e-commerce платформами та SaaS-рішеннями. Грамотний UI/UX-дизайн мінімізує "тертя" та забезпечує плавне "розрізання" ринку новим продуктом.

Використання мережевих методів для вирішення задач планування й управління підприємством

Сергій Грибков, Максим Ліманський
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Використання мережевих графіків як засобу результативного планування в системах із мережевим представленням технологій та обмеженими ресурсами допомагає вдосконалити процес прийняття управлінських рішень адже на основі мережевих графіків засноване виробниче календарне планування.

Матеріали і методи. Матеріалом для досліджень стали мережеві графіки, які складають і вивчають для оптимального дослідження робіт і їх взаємозв'язку в часі.

Результати і обговорення. Побудова моделі, наприклад, виробничого процесу підприємства, яка буде відображати цей процес в часі і просторі, дозволить наочно дослідити роботи та оптимізувати їх взаємозв’язки в часі.

Частіше за все на практиці використовуються два методи побудови графіків планування та управління підприємством. У першому випадку завдання зображуються у вигляді дуг, а події, що означають завершення тих чи інших робіт, позначаються вузлами. У другому випадку – завдання виступають вузлами графа, а дуги відображають зв'язки між окремими діями у процесі їх виконання. Оскільки графи, збудовані за другим принципом, зазвичай є більш заплутаними та менш придатними для аналізу, перевагу надають першому методу, відомому також як принцип «події-завдання».

Досліджуваний процес варто розбити на окремі роботи та події, окреслити їх логічні зв’язки, чітко визначити їх послідовність виконання та закріплення за відповідальними виконавцями. Після оцінки тривалості кожної роботи, будується мережевий графік для проведення аналізу, оптимізації та визначення резервів часу. Слід врахувати, що в мережевій моделі, окрім завершальної події, не повинно бути подій, що не пов’язані з жодною роботою. В моделі не може бути з’єднань, що сполучають подію саму з собою, тобто замкнутих контурів. Будь-які дві події повинні бути безпосередньо пов'язані не більш ніж однією роботою-стрілкою. Якщо у мережі виявилося більше одного входу чи виходу, потрібно ввести фіктивні події і роботи для стабілізації мережі.

Висновки. Застосування мережевих методів у процесах планування і управління на підприємстві сприяє оптимізації доставки продукції, раціональному використанню виробничих ресурсів та підвищенню їх ефективності.

Література

10. Shevchenko O. K, Zhukov A. V. (2019), Mathematical model of network planning of restoration works, *Repository Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics*, pp. 188-189.
11. Yanina Kolodinska. (2024), Network methods of simulation of it project management processes in the conditions of the digital economy, *Bulletin of Khmelnytskyi National University*, Vol.1, pp. 188-189.
12. Rodashchuk, H. Yu., Kontseba, S. M., Lishchuk, R. I., Skurtol, S. D. (2023). Network planning in IT project management, *Taurian Scientific Herald. Series: Technical Sciences*, Vol. 1. pp. 42-56.

Розробка та впровадження веб-системи контролю доступу до паркування з використанням технологій комп'ютерного зору

Алім Гуменюк, Оксана Ковальчук
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. У сучасних умовах розвитку міської інфраструктури та зростання кількості транспортних засобів особливої актуальності набувають системи автоматизації паркувальних процесів. Ефективне управління доступом до паркувальних територій є важливим завданням для забезпечення безпеки, оптимізації використання простору та підвищення комфорту користувачів.

Традиційні методи контролю доступу, що базуються на ручному введенні даних або використанні фізичних перепусток, мають ряд недоліків, зокрема низьку швидкість обробки, високу ймовірність помилок та обмежені можливості масштабування. У зв'язку з цим актуальним є застосування технологій комп'ютерного зору для автоматизації процесів ідентифікації транспортних засобів.

Матеріали і методи. У процесі розробки веб-системи контролю доступу до паркування застосовано комплекс методів, що охоплюють підходи комп'ютерного зору, обробки даних та проєктування інформаційних систем.

Для обробки зображень і відеопотоку використовуються методи комп'ютерного зору, які забезпечують виділення номерних знаків транспортних засобів: попередня обробка зображень (фільтрація шумів, нормалізація освітлення); сегментація області номерного знака; виділення контурів та ключових ознак; бінаризація та морфологічна обробка зображень. Ці методи дозволяють підготувати зображення до подальшого розпізнавання.

Результати та обговорення. Метою роботи є розробка та впровадження веб-системи контролю доступу до паркування з використанням технологій комп'ютерного зору, яка забезпечує автоматичне розпізнавання номерних знаків транспортних засобів та управління доступом у режимі реального часу. У роботі розглядається застосування методів попередньої обробки зображень, зокрема нормалізації освітлення, фільтрації шумів та сегментації області номерного знака. Для розпізнавання символів використовуються сучасні алгоритми комп'ютерного зору та методи машинного навчання, що забезпечують високу точність і надійність результатів. Веб-система включає серверну частину для обробки даних, базу даних для зберігання інформації про транспортні засоби та історію доступів, а також клієнтський інтерфейс для управління системою. Забезпечується можливість додавання користувачів, налаштування прав доступу, перегляду статистики та журналів подій.

Особлива увага приділяється інтеграції системи з відеокамерами та забезпеченню роботи в режимі реального часу. Використання сучасних веб-технологій дозволяє створити масштабоване та зручне у використанні рішення.

Висновки. У результаті виконання роботи було розроблено веб-систему контролю доступу до паркування з використанням технологій комп'ютерного зору, яка дозволяє автоматизувати процес ідентифікації транспортних засобів та підвищити ефективність управління паркувальними ресурсами.

Запропонована система забезпечує високу точність розпізнавання номерних знаків, зменшує вплив людського фактору та підвищує рівень безпеки. Результати роботи можуть бути використані у практичних рішеннях для автоматизації паркувальних комплексів.

LLM-АГЕНТИ У ВЕБ-АНАЛІТИЦІ: СЕМАНТИЧНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ GOOGLE ANALYTICS 4

Дмитро Гуро, Сергій Грибков
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасна цифрова економіка зумовлює перехід веб-аналітики від фіксації кількісних метрик до інтерпретації інтенцій користувача. Попри функціональність Google Analytics 4 (GA4), зберігається розрив між подієвими даними та стратегічними інсайтами, оскільки агреговані звіти нівелюють семантичний контекст шляху клієнта. Дослідження вказують на доцільність доменно-адаптованих інтелектуальних систем і застосування великих мовних моделей (LLM) для переходу до семантичного аналізу взаємодії користувача.

Матеріали і методи. Методологія дослідження ґрунтується на побудові конвеєра обробки даних, де події з BigQuery Export трансформуються у текстові «портрети сесій». З огляду на неефективність прямої обробки великих обсягів логів, застосовано архітектуру RAG, що забезпечує контекстуалізовану роботу зі структурованими даними. Для підвищення релевантності в електронній комерції інтегровано доменні знання, що дає змогу перетворювати технічні події на наративи поведінки користувача. У цій системі великі мовні моделі виконують функцію автоматизованої анотації даних.

Результати та обговорення. Для практичної валідації концепції було проведено експеримент на основі вибірки з 50 000 сесій e-commerce ресурсу. Системі було поставлено завдання ідентифікувати приховані причини відмови від покупки, спираючись виключно на послідовність переходів, час на сторінці та взаємодію з елементами інтерфейсу. Результати порівняльного аналізу продемонстрували значну перевагу LLM-підходу над класичними методами статистичної кластеризації. Експеримент зафіксував зростання точності класифікації інтенцій на 15%. Традиційні алгоритми успішно групували користувачів за тривалістю сесії, але маркували складну поведінку як статистичний шум. Натомість LLM змогла ідентифікувати нелінійні патерни, такі як «втома від порівняння характеристик» або «пошукова розгубленість через незручну навігацію», автоматично генеруючи гіпотези щодо покращення UX/UI дизайну ресурсу.

Висновки. Інтеграція LLM у стек веб-аналітики забезпечує фундаментальний перехід від описової моделі до прескриптивної. Використовуючи принципи розробки автономних агентів, аналітична система перетворюється на активного учасника бізнес-процесу. Модель здатна не лише інтерпретувати дані, але й самостійно генерувати SQL-запити до баз даних для перевірки власних гіпотез щодо поведінки аудиторії. Це відкриває шлях до створення масштабованих систем гіперперсоналізації, де кожне маркетингове рішення базується на глибокому семантичному аналізі цифрового сліду користувача.

Література

1. Shen Y. et al. (2026). Marketing-AutoM3L: domain-aware automated machine learning for financial customer analytics, *Frontiers in Artificial Intelligence*.
2. BPS-Statistics Indonesia researchers. (2025). Early Study of LLM Implementation in Survey Interviews, *Jurnal Aplikasi Statistika & Komputasi Statistik*.
3. Rafidhul Haque I. C. (2025). Implementation of Retrieval-Augmented Generation (RAG) and Large Language Models (LLM) for a Document and Tabular-Based Chatbot System, *Journal of Electronics Technology Exploration*.
4. Murtiyoso M. et al. (2025). A Systematic Review of Retrieval-Augmented Generation for Enhancing Domain-Specific Knowledge in Large Language Models, *Sinkron*.

Роль комп'ютерної графіки для IT-сфери

Вероніка Донець
Національний транспортний університет

Вступ. Комп'ютерна графіка є однією з головних складових сучасної IT-сфери, оскільки надає візуалізацію даних, покращує ефективність взаємодії користувача із цифровими системами та збільшує можливості створення програмного забезпечення. Вона застосовується у веброзробці, ігровій індустрії, системах автоматизованого проєктування, віртуальній та доповненій реальності, а також у галузі аналізу даних. Збільшення обчислювальних потужностей та розвиток графічних технологій стимулюють створення більш реалістичних, інтерактивних та функціональних програмних продуктів, що зумовлює важливість вивчення значення комп'ютерної графіки в IT-галузі.

Матеріали та методи. Матеріали ґрунтуються на аналізі сучасних методів до застосування комп'ютерної графіки у різних сферах IT. Було розглянуто наукові видання і практичні приклади впровадження графічних технологій у програмних рішеннях. Головними способами дослідження є зіставний аналіз та підсумок відомостей стосовно використання 2D, 3D-графіки, векторної та растрової графіки. Також розглянуто вплив графіки на ефективність систем та досвід користувача (UX/UI) [1].

Результати та обговорення. Комп'ютерна графіка відіграє вирішальну роль у формуванні сучасних цифрових продуктів. У веброзробці вона забезпечує створення інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів, адаптивного дизайну та інтерактивних елементів, що покращують взаємодію користувача з системою. В ігровій індустрії розвиток графічних рушіїв дозволяє досягати високого рівня реалізму та фізичної достовірності об'єктів.

У сфері аналізу даних комп'ютерна графіка використовується для візуалізації складних наборів даних у вигляді графіків, діаграм і дашбордів, що значно полегшує процес прийняття рішень. У технологіях віртуальної та доповненої реальності графіка забезпечує створення інтерактивних середовищ, які застосовуються в освіті, медицині та промисловості.

Окрім цього, було визначено, що використання сучасних графічних технологій потребує оптимізації продуктивності, оскільки складні візуальні ефекти можуть значно навантажувати апаратні ресурси. Тому важливим аспектом є баланс між якістю графіки та ефективністю роботи програмного забезпечення.

Висновок. Комп'ютерна графіка є невід'ємною складовою IT-сфери, яка забезпечує не лише естетичну привабливість програмних продуктів, але й їхню функціональність та зручність використання. Її розвиток сприяє появі нових технологій і напрямів, таких як віртуальна реальність, інтерактивні інтерфейси та інтелектуальні системи візуалізації.

Література

1. Інновації в UI/UX-дизайні як ключ до успішного просування вебресурсів (2025) ResearchGate [online]. URL: https://www.researchgate.net/publication/393947704_Innovacii_v_UIUX-dizajni_ak_kluc_do_uspisnogo_prosuvanna_vebresursivInnovation_in_UIUX_design_as_a_key_to_successful_promotion_of_web_resources

Використання IoT-рішень предиктивного моніторингу мікроклімату для мінімізації харчових відходів

Денис Д'яченко, Мирослава Гладка
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Зростання обсягів харчових відходів на етапі логістики та зберігання обумовлює потребу в удосконаленні систем контролю за складськими приміщеннями [1]. Водночас забезпечення стабільного мікроклімату є складним завданням, оскільки навіть короткочасні відхилення температури чи вологості значно впливають на якість і термін придатності продуктів. Використання технологій Інтернету речей (IoT) дозволяє автоматизувати збір даних та компенсувати людський фактор. Метою дослідження є обґрунтування доцільності використання IoT-систем предиктивного моніторингу мікроклімату для складів харчової промисловості та оцінювання їхньої потенційної ефективності. Наукова новизна дослідження полягає у формуванні концептуальної моделі взаємодії сенсорних мереж із хмарними алгоритмами машинного навчання для завчасного прогнозування критичних змін середовища.

Матеріали і методи. Досліджено концепції апаратних компонентів (бездротові датчики температури, вологості, CO2) та програмних рішень для телеметрії. Проведено теоретичне архітектурне моделювання системи, підбір стека технологій (Python, Django для бекенду, Next.js для клієнтського інтерфейсу) та проєктування бази даних. Оцінювання проводилося за критеріями відмовостійкості та швидкості обробки запитів на рівні ORM.

Результати і обговорення. На основі аналітичного огляду літератури визначено перспективи використання комплексних IoT-рішень для харчової логістики, а також роль предиктивної аналітики у зменшенні фінансових втрат [1]. В ході концептуального проєктування встановлено, що оптимальною є трирівнева архітектура системи: рівень збору даних (сенсорні вузли), рівень агрегації (шлюзи) та хмарний рівень обробки. Дослідження можливостей інтеграції алгоритмів машинного навчання показало, що використання моделей на базі дерев рішень значно впливає на здатність системи завчасно виявляти аномалії, сприяючи превентивному реагуванню на збої кліматичного обладнання. Виявлено потенційну синергічну дію апаратних датчиків та програмних брокерів повідомлень (Celery/RabbitMQ) при спільному застосуванні, що дозволить створити стабільну композицію для обробки великих масивів даних у реальному часі. Найкращі теоретичні показники швидкодії передбачаються при оптимізації запитів до бази даних за допомогою методів select_related, що сприятиме зменшенню навантаження на сервер.

Висновки. Отже, на основі дослідження вимог до зберігання харчової продукції та аналізу сучасних IT-інструментів, запропоновано використання IoT-системи предиктивного моніторингу на основі трирівневої архітектури з інтеграцією ML-алгоритмів. Доведено, що впровадження такої системи обумовлює перехід від реактивного до проактивного управління мікрокліматом, поліпшення контролю за умовами зберігання, а також створює передумови для суттєвого зниження обсягів харчових відходів [1].

Література.

1. Gowrishankar V., Veena P., Ponmurugan P., Annapoorani B.T., Vijayakumar P., Ramkumar M.S. Edge Computing Enabled Smart Warehouse Management System for Food Processing Industries. 2023. URL: doi.org/10.1109/ICCCNT56998.2023.10308398

Використання методів комп'ютерного зору для оцінювання якості змішування сипких компонентів у гравітаційному змішувачі

Артем Житнецький, Олена Андріюк
Національний університет харчових технологій

Вступ. Метою роботи є дослідження застосування методів комп'ютерного зору для оцінювання якості змішування сипких компонентів у гравітаційному змішувачі. Використання алгоритмів обробки зображень дає змогу визначати ступінь однорідності суміші на основі аналізу кольорових та текстурних характеристик. Такий підхід забезпечує швидкий, об'єктивний і безконтактний контроль у режимі реального часу.

Матеріали та методи. Зображення суміші оброблялися за допомогою методів комп'ютерного зору: попередньої фільтрації шуму, сегментації компонентів за кольором та оцінювання однорідності через аналіз гістограм і коефіцієнт варіації. Для автоматизації обробки використовувався програмний інструментарій на базі мови Python і бібліотека OpenCV. Для дослідження ефективності змішування використовували сипкі компоненти, які попередньо фарбували натуральними харчовими барвниками. Об'єктами дослідження були порошки оксиду алюмінію Al_2O_3 із розміром частинок 27–50 мкм, забарвлені в червоний колір (полуничний барвник), та крохмаль із розміром частинок 10–35 мкм, забарвлений у зелений колір.

Результати та обговорення. В ході експериментів проведено змішування порошків оксиду алюмінію Al_2O_3 та крохмалю, забарвлених у контрастні кольори. Для попереднього аналізу було використано колірний простір HSV і успішно проведено сегментацію компонентів за допомогою методу cv2.cvtColor бібліотеки OpenCV. Використання морфологічної фільтрації дозволило усунути відблиски на частинках оксиду алюмінію, підвищивши точність аналізу. Кількісне оцінювання якості суміші проводили за коефіцієнтом варіації Kv, розрахованим на основі гістограм інтенсивності пікселів. На початкових етапах спостерігалася значна сегрегація часток із показником Kv понад 40%. У процесі гомогенізації гістограма набувала унімодального вигляду, а коефіцієнт варіації стабілізувався на рівні 3–5%. Встановлено, що оптимальна інтенсивність пересипання компонентів досягається при куті нахилу змішувача 30–45°. Комп'ютерний зір дозволив динамічно відстежувати кінетику процесу без відбору проб і руйнування структури суміші. Доведено, що різниця у розмірах частинок Al_2O_3 та крохмалю не спричиняє критичного розшарування за умови дотримання раціональних режимів. Запропонований метод забезпечує об'єктивний контроль однорідності в режимі реального часу

Висновок. Доведено доцільність використання методів комп'ютерного зору та бібліотеки OpenCV для оцінювання ефективності змішування сипких компонентів у режимі реального часу, оперативного визначення однорідності системи та встановлення оптимальних параметрів роботи гравітаційного змішувача: частоти обертання, куту нахилу та тривалості процесу. Це забезпечує об'єктивний контроль якості змішування без необхідності відбору проб.

Література

Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications 2nd Edition. – © 2022 Springer (https://szeliski.org/Book) – 2022. – 1232 p

Алгоритмічне забезпечення системи автоматизованої оцінки емоційного стану дітей

Жукова Катерина
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Вступ. Актуальність роботи зумовлена необхідністю діджиталізації психологічних інструментів. Метою є розробка алгоритмічної бази інформаційної системи, здатної автоматично оцінювати та здійснювати безперервний моніторинг емоційного стану та самосвідомості дитини.

Методи досліджень. Матеріалом дослідження є масиви даних, отримані на основі стандартизованих дитячих психологічних опитувальників. Для розробки алгоритмічного забезпечення застосовано методи об'єктно-орієнтованого проектування та моделювання мовою UML. Обробка результатів тестування реалізована за допомогою алгоритмів дерева рішень та вагових коефіцієнтів для розрахунку показників емоційного стану.

Результати і обговорення. Розроблено алгоритм комплексної оцінки психоемоційного стану, який обчислює зважену суму маркерів (тривожність, емпатія, стрес) з використанням адаптивних вагових коефіцієнтів у діапазоні від 0,2 до 1,5 залежно від віку дитини. Тестування моделі на 200 симульованих профілях показало, що похибка зведення шкал не перевищує 2,3 % порівняно з ручною експертною оцінкою. Для оптимізації обробки даних впроваджено механізм індексування, що зменшило час генерації фінального звіту до 0,08 с. Оптимальним режимом збору даних визначено сесійне опитування з фоновим асинхронним збереженням кожні 5 хвилин. Це мінімізує втрату результатів при нестабільному з'єднанні та обмежує споживання оперативної пам'яті сервера. Логіку роботи алгоритмічного забезпечення наведено на рис. 1.

Рис. 1. Блок-схема алгоритму оцінки психоемоційного стану дитини

Висновок. Запропоноване алгоритмічне забезпечення дозволяє повністю автоматизувати моніторинг емоційного стану дітей, забезпечуючи високу точність оцінки та мінімальне навантаження на сервер. Систему доцільно використовувати у практиці дитячих психологів для підвищення швидкості обробки результатів.

Застосування гнучких методологій (Agile) при розгортанні інфраструктури смарт-лічильників

Дмитро Загородній, Ігор Пархомей
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Розгортання інфраструктури смарт-лічильників (Advanced Metering Infrastructure, AMI) є складним IoT-проєктом, що поєднує встановлення фізичного апаратного забезпечення та розробку програмних платформ для обробки великих масивів даних. Традиційно в енергетичному секторі застосовуються жорсткі каскадні методи управління (Waterfall), однак вони не забезпечують необхідної гнучкості при інтеграції програмного забезпечення. Це зумовлює актуальність дослідження можливостей адаптації гнучких методологій (Agile) для таких проєктів.

Матеріали і методи. У дослідженні використано методи порівняльного аналізу проєктних методологій (PMBOK, Scrum, Kanban) та системного підходу до управління IoT-проєктами в енергетиці. Матеріалом слугували теоретичні моделі життєвого циклу розгортання розумних мереж (Smart Grid) та дані щодо впровадження смарт-лічильників на пілотних об'єктах.

Результати і обговорення. Дослідження показало, що чистий підхід Agile важко застосувати до всього проєкту, оскільки апаратна частина (закупівля лічильників, логістика, отримання дозволів, фізичний монтаж) вимагає предиктивного планування та жорсткого управління постачаннями. Натомість програмна складова (налаштування серверів, розробка інтерфейсів, інтеграція протоколів передачі даних та систем кібербезпеки) потребує ітеративного підходу. Дослідження показало, що чистий підхід Agile важко застосувати до всього проєкту, оскільки апаратна частина (закупівля лічильників, логістика, отримання дозволів, фізичний монтаж) вимагає предиктивного планування та жорсткого управління постачаннями. Натомість програмна складова (налаштування серверів, розробка інтерфейсів, інтеграція протоколів передачі даних та систем кібербезпеки) потребує ітеративного підходу.

Встановлено, що оптимальним рішенням для IoT-проєктів в енергетиці є застосування гібридної методології управління (Water-Scrum-Fall). На етапі ініціації та розгортання фізичної інфраструктури доцільно використовувати традиційний підхід, що дозволяє точно розрахувати бюджет і терміни виконання робіт. Паралельно, етап програмної інтеграції та налаштування збору даних розбивається на короткі спринти (по 2-4 тижні) згідно з фреймворком Scrum. Це дозволяє тестувати систему на ранніх етапах, зокрема перевіряти надійність передачі даних на невеликій тестовій групі лічильників, і швидко вносити зміни в архітектуру без ризику зупинки всього проєкту. Крім того, застосування інструментів Kanban для візуалізації поточних завдань технічних бригад значно покращило комунікацію між відділами монтажу та IT-підтримки. Оцінка ефективності запропонованого гібридного підходу показала зниження ризиків програмно-апаратної несумісності та скорочення часу виходу проєкту на етап повноцінної експлуатації.

Висновки. Використання гібридного підходу з елементами Agile при розгортанні інфраструктури смарт-лічильників дозволяє ефективно збалансувати стабільність, необхідну для апаратних процесів, та гнучкість, критично важливу для програмної розробки. Це підвищує загальну надійність енергетичної IoT-системи та рівень задоволеності зацікавлених сторін.

Інформаційна система обліку точки продажу морозива

Микита Зайцев, Олександр Безверхий
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. Система обліку точки продажу морозива – це програмний або апаратно-програмний комплекс, який автоматизує процеси управління товарними запасами, продажами, обліком фінансових операцій та аналітикою..

Матеріали і методи. Розробка додатка для обліку точки продажу морозива є важливим кроком до автоматизації бізнес-процесів. Використання Java, XML, PostgreSQL та Sanic дозволяє створити надійне та ефективне рішення. Такий підхід забезпечує масштабованість системи та можливість її подальшого розвитку, включаючи впровадження додаткових функцій, як-от звіти в реальному часі або інтеграція з онлайн-магазинами.

Результати та обговорення. Програмний продукт "Інформаційна система обліку точки продажу морозива " створений для автоматизації процесів прийому та обробки замовлень, управління асортиментом, а також для надання інструментів аналітики. Основна мета програми – забезпечення комфортної роботи працівників, скорочення часу обслуговування клієнтів і підвищення загальної ефективності системи продажів. Передбачено функціональні можливості продукту, які відносяться до різних критеріїв. Оформлення замовлення: Вибір типу ріжка. Додавання кількох видів морозива. Регулювання кількості кульок. Додавання сиропів, налаштування кількості сиропу. Перегляд складу замовлення. Редагування та видалення елементів. Підрахунок вартості. Підтвердження замовлення. Відмітка готовності замовлення. Управління та аналітика: Збереження історії замовлень. Повторення замовлення. Статистика продажів: Популярні смаки. Налаштування профілю працівника.

На основі проведеного аналізу була архітектурно спроєктована та програмно реалізована інформаційна система. Обраний технологічний стек, що включає мови програмування Python (для серверної логіки) та Java (для мобільного додатка під Android), надійну СУБД PostgreSQL та технологію REST API для взаємодії компонентів, довів свою ефективність. В рамках розробки мобільного додатку для управління процесами замовлення, реалізовано ефективний інтерфейс користувача, а також логіка взаємодії з сервером, яка відповідає за формування запитів до серверу, обробку отриманих даних та налаштування інтерфейсу для відображення списків продуктів і категорій, таких як смаки морозива, начинки та типи ріжків. Для взаємодії з сервером використовується HTTP-клієнт, який відправляє POST-запит із даними на сервер. Розробка додатку в Android Studio включає в себе не тільки налаштування інтерфейсу за допомогою адаптерів і списків, але й реалізацію логіки для взаємодії з сервером, обробки JSON-запитів та відповіді, а також перехід між різними екранами в залежності від ролі користувача ("Адмін" або "Працівник"). Серверна частина забезпечує обробку запитів від клієнтської сторони, управління базою даних, виконання бізнес-логіки, а також інтеграцію з іншими сервісами. У даному проекті використовується Sanic, високопродуктивний асинхронний веб-фреймворк Python, який дозволяє ефективно обробляти велику кількість одночасних запитів.

Висновки. Створена система для замовлення морозива є готовим програмним продуктом, що дозволяє оптимізувати робочі процеси, мінімізувати людський фактор, підвищити продуктивність праці та забезпечити якісно новий рівень сервісу і дозволяє зробити висновок про наявність ознаки технічної новизни у представленій системі, що поєднує POS-функціональність із сучасною IT-архітектурою.

Сенсорні технології та алгоритми обробки даних у системах розпізнавання жестів

Олег Золотухін, Мирослава Міхеєва
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Вступ. На сьогоднішній день дослідження та розробка штучного інтелекту (ШІ) набувають широкого застосування та охоплюють дедалі більше сфер людської діяльності.

Одним з провідних напрямків розвитку ШІ є сприйняття та обробка візуальних даних, оскільки це надає нові можливості для взаємодії з комп'ютерними системами. Система розпізнавання жестів (Hand Gesture Recognition, HGR) є технологією комп'ютерного зору, що дозволяє автоматично визначати та інтерпретувати жести людини на основі візуальних або сенсорних даних.

Удосконалення систем розпізнавання жестів є актуальним, тому що їх робота необхідна для людей з обмеженими можливостями, зокрема з порушеннями слуху, органів артикуляції або рухової активності. Крім того, системи розпізнавання жестів сприяють формуванню більш природного та інтуїтивного способу взаємодії користувача з пристроями.

Матеріали і методи. Одним з основних етапів розробки HGR систем є правильний вибір типу датчика.

Складність аналізу та перетворення даних залежить від таких чинників, як: динаміка взаємодії, розмір, швидкість, положення та навколишнє середовище об'єкту [1].

Саме сенсор впливає на якість отриманих даних, адже він реєструє візуальні дані об'єкту й здійснює їх подальшу обробку.

Системи розпізнавання жестів відрізняються між собою за типом сенсорних технологій, що використовуються для збору даних.

HGR системи на основі класичного комп'ютерного зору використовують монокулярні або ж стереоскопічні камери, а також технології визначення глибини простору. Основною перевагою цього методу є висока точність розпізнавання, однак він є найбільш чутливим до освітлення, складного фону та перекритих об'єктів. Також широко застосованими є радарні системи, такі як радари з частотною модуляцією безперервного випромінювання (Frequency Modulated Continuous Wave, FMCW).

Аналіз отриманих радіохвиль базується на методах обробки сигналів. Основною перевагою є здатність визначати рух навіть через перешкоди та можливість роботи незалежно від освітлення.

Окрім того, перспективним є використання ультразвукових мікроелектромеханічних систем (Micro-Electro-Mechanical Systems, MEMS). Ультразвукові сенсори використовують акустичні сигнали, що дозволяє реалізувати розпізнавання жестів за принципом ехолокації з мінімальним енергоспоживанням.

Отримані сенсорні дані потребують подальшої обробки та аналізу за допомогою алгоритмів машинного навчання або методів обробки часових послідовностей. Вибір алгоритму залежить від типу отриманих даних та характеру руху об'єкта.

Одним із класичних застосовуваних алгоритмів виявлення аномалій динаміки руху у HGR системі з комп'ютерним зором є алгоритм Dynamic Time Warping (DTW).

Цей алгоритм дозволяє визначати схожість двох часових рядів, при цьому ігноруючи різницю в швидкості, тривалості та викривленнях виконання. В той час як у радарних HGR системах використовуються методи спектрального аналізу, що

дозволяє визначати зміни частоти та амплітуди відбитого сигналу, що виникають унаслідок руху.

Після попередньої обробки сигналів формуються спектральні дані, які використовуються як ознаки для класифікації.

В обох випадках отримані ознаки жестів можуть додатково оброблятися за допомогою алгоритмів машинного навчання.

Це дозволяє покращити точність розпізнавання жестів та підвищити стійкість систем до змін навколишнього середовища.

Важливим етапом є виділення ознак жестів. У системах комп'ютерного зору для цього часто використовуються методи визначення ключових точок руки або побудова скелетної моделі.

У радарних системах аналогічну роль відіграє формування часово-частотних характеристик сигналу. Це дозволяє підвищити точність класифікації та зменшити вплив шумів.

Результати та обговорення: Аналіз сучасних досліджень [1], [2] показує, що ефективність HGR систем значно залежить від типу сенсорної технології та алгоритмів класифікації.

У системах на основі комп'ютерного зору широко застосовуються нейронні мережі та алгоритми DTW.

Ці методи дозволяють ефективно аналізувати просторові та числові дані та забезпечують точність 85 −100%.

Похибка результатів залежить від складності задачі та кількості жестів. У таких радарних системах, як FMCW, класифікація жестів, що здійснюється за допомогою алгоритмів машинного навчання, досягає точності приблизно 82− 99.5 % та може використовуватися як і при статичних, так і при динамічних жестах.

Висновки: Системи розпізнавання жестів є перспективним напрямком розвитку технологій ШІ, машинного навчання та комп'ютерного зору.

Ефективність таких систем залежить від навколишнього середовища, типу сенсорних технологій та методів обробки даних.

Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє ще більше підвищити точність з середнього показника 82−85 % .

Подальший розвиток сприятиме створенню більш ефективних систем взаємодії людини з електронними пристроями.

Література.

1. Hand Gesture Recognition on Edge Devices: Sensor Technologies, Algorithms, and Processing Hardware / E. Fertl et al. *MDPI*. URL: https://www.mdpi.com/1424-8220/25/6/1687#sec4-sensors-25-01687 (дата звернення: 13.03.2026).

2. End-to-End Ultrasonic Hand Gesture Recognition / E. Fertl et al. *MDPI*. URL: https://www.mdpi.com/1424-8220/24/9/2740 (date of access: 12.03.2026).

Інтеграція системи підтримки прийняття рішень на основі самоорганізаційних карт Кохонена у CRM-середовище підприємства

Олександр Іващенко, Святослав Касянчук, Сергій Федін
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. У сучасних умовах цифровізації економіки підприємства накопичують значні обсяги даних про взаємодію з клієнтами, що зберігаються у системах управління взаєминами з клієнтами (Customer Relationship Management, CRM). Аналіз таких даних дозволяє виявляти закономірності поведінки клієнтів і використовувати їх для підтримки прийняття управлінських рішень. Одним із ефективних методів аналізу багатовимірних даних є самоорганізаційні карти Кохонена (Self-Organizing Maps, SOM), які забезпечують кластеризацію та зменшення розмірності даних зі збереженням їх топологічної структури. Раніше було розроблено десктопний програмний додаток для сегментації даних на основі SOM, однак така реалізація має обмежені можливості інтеграції з корпоративними інформаційними системами. Це зумовлює необхідність переходу до веб-орієнтованої реалізації програмного рішення, здатної функціонувати як аналітичний сервіс та взаємодіяти з CRM-середовищем підприємства.

Матеріали і методи. Для інтеграції алгоритму самоорганізаційних карт Кохонена у корпоративні інформаційні системи розроблено веб-орієнтовану реалізацію програмного додатку для сегментації бізнес-даних. Архітектуру системи побудовано на основі серверної платформи ASP.NET Core із використанням сервісно-орієнтованого підходу до організації взаємодії між компонентами. Аналітичний модуль SOM реалізовано як окремий серверний сервіс, що виконує обробку даних та формування результатів кластеризації. Для забезпечення програмної взаємодії з CRM-системами розроблено REST API, який дозволяє передавати вхідні дані для аналізу та отримувати результати сегментації у стандартизованому форматі JSON. Крім того, реалізовано механізм паралельної обробки запитів, що забезпечує підтримку багатокористувацької роботи. Для перевірки коректності функціонування веб-орієнтованої реалізації проведено порівняльний аналіз результатів кластеризації із результатами, отриманими у десктопній версії програми, за однакових параметрів навчання SOM та фіксованого значення генератора випадкових чисел (seed), що забезпечує відтворюваність результатів.

Результати. Використання веб-орієнтованого додатку кластеризації бізнес-даних на основі алгоритму самоорганізаційних карт Кохонена забезпечує автоматизовану обробку клієнтських даних у корпоративному інформаційному середовищі та інтеграцію з CRM-системами через REST API із передачею даних у стандартизованому форматі. Порівняння результатів кластеризації показало, що перехід до серверної архітектури не впливає на топологічну структуру SOM та стабільність кластеризації.

Висновки. Запропоновано веб-орієнтовану систему сегментації клієнтів на основі самоорганізаційних карт Кохонена з підтримкою REST API, що забезпечує інтеграцію у CRM-середовище підприємства та підтримку масштабованої багатокористувацької обробки даних. Отримані результати підтверджують доцільність використання серверної реалізації SOM для автоматизації сегментації клієнтів та аналітичної обробки великих наборів бізнес-даних у корпоративних інформаційних системах.

Використання дієгетичних інтерфейсів у віртуальній реальності

Роман Карманов, Наталія Зубрецька
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. Розвиток галузі віртуальної реальності(VR) та відповідних засобів взаємодії актуалізує потребу в переосмисленні та розширенні спектру методів побудови архітектури користувацьких інтерфейсів. У процесі переходу від традиційних двовимірних моделей до тривимірних, деякі концепції втрачають актуальність (скевоморфізм, неоморфізм) та поступаються місцем новим (скломорфізм). Одним із нових напрямів тривимірної взаємодії є дієгетичні інтерфейси — сукупність інформаційних елементів взаємодії з користувачем, інтегрованих з об'єктами віртуального простору, не заміщуючи собою та не порушуючи їх первинну концепцію. Такий підхід дозволяє цифровим системам дублювати властивості реальних предметів, суттєво зменшуючи когнітивний дискомфорт користувача.

Матеріали і методи. Методологічною основою виступає системно-функціональний аналіз предметної області, її суб'єктів та підходів до розробки тривимірних середовищ, а також експериментальне порівняння дієгетичних інтерфейсів із класичними. У якості емпіричної бази використано результати дослідження, в ході якого для вирішення еквівалентних задач користувацької взаємодії було використано як класичний підхід, так і дієгетичний. Оцінювання проводилось за допомогою метрик часу виконання завдань, шкали зручності використання (SUS) та опитувальника симуляторної хвороби (SSQ).[1]

Результати та обговорення. Встановлено, що обидва типи інтерфейсів мають високий рівень зручності (на основі показників шкали SUS). Незначна перевага класичної архітектури інтерфейсів полягає у швидкості взаємодії з користувачем при виконанні завдань, попередньо завершивши етап навчання. Водночас, дієгетичні інтерфейси сприяють кращому розумінню принципів взаємодії та більшій інтуїтивності для загального користувача. Це зумовлено тим, що концепція дієгетичного інтерфейсу передбачає ідентичність віртуальних об'єктів із реальними аналогами, повторюючи тим самим відповідні механізми взаємодії, подібно до архітектури, на якій будувались скевоморфні інтерфейси. Також, на основі показників шкали SSQ виявлено, що дієгетичні інтерфейси демонструють кращі результати та викликають менше симптомів симуляторної хвороби, що слугує фундаментальним показником стабільності для тривалого використання VR-систем. За результатами системно-функціонального аналізу, різниця концепцій при вирішенні задач є незначною, оскільки показники зворотного зв'язку наближені до еквівалентних. Це демонструє можливість впровадження дієгетичних інтерфейсів для вирішення складних задач, незалежно від їх структури та досвідченості користувача.

Висновки. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для створення та впровадження альтернативних підходів до розробки тривимірних інтерфейсів, призначених для більш глибокої та інтуїтивної взаємодії з користувачем. Запропоновані напрацювання можуть слугувати основою для визначення актуальності дієгетичного підходу при розробці інтерфейсу, навіть у випадках коли їх впровадження та реалізація можливі лише у частковій формі.

Література

1. Murphy, J., & Hamam, A. (n.d.). *Diegetic and non-diegetic user interface and user experience design in virtual reality*. Florida Polytechnic University.

Розробка системи виявлення та відстеження об'єктів

у відеопотоці з безпілотних літальних апаратів

Данило Кірєєв, Оксана Ковальчук
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. У сучасному світі спостерігається стрімкий розвиток технологій комп'ютерного зору та безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що відкриває нові можливості для автоматизації процесів моніторингу та аналізу навколишнього середовища. Використання відеопотоку з БПЛА дозволяє здійснювати спостереження за великими територіями у режимі реального часу, що є особливо актуальним у сферах безпеки, охорони кордонів, управління транспортом, аграрного сектору та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Матеріали і методи. Як вхідні дані використовуються відеопотоки, отримані з камер безпілотних літальних апаратів. Для дослідження можуть застосовуватися як відкриті набори даних (dataset), так і власні відеозаписи, що містять різноманітні сцени з об'єктами, які необхідно виявляти та відстежувати (транспортні засоби, люди, інфраструктурні об'єкти тощо). Для виявлення об'єктів застосовуються згорткові нейронні мережі (CNN), які дозволяють автоматично визначати об'єкти у кадрі з високою точністю. Використання попередньо навчених моделей дає змогу скоротити час навчання та підвищити ефективність системи.

Результати та обговорення. У роботі розглядаються методи попередньої обробки відеоданих, зокрема фільтрація шумів, нормалізація освітлення та підвищення контрастності. Для задачі виявлення об'єктів застосовуються сучасні підходи на основі згорткових нейронних мереж, які забезпечують високу точність розпізнавання навіть у складних умовах.

Відстеження об'єктів здійснюється шляхом аналізу їх переміщення між кадрами відеопослідовності з використанням алгоритмів трекінгу. Комбінація детекції та трекінгу дозволяє підвищити стабільність роботи системи та зменшити кількість помилкових спрацьовувань.

Особливу увагу приділено оптимізації обчислювальних процесів, що дозволяє забезпечити обробку відеопотоку у режимі реального часу. Це досягається шляхом використання ефективних моделей нейронних мереж та сучасних програмних інструментів.

Висновки. У результаті проведеного дослідження було розроблено систему виявлення та відстеження об'єктів у відеопотоці з безпілотних літальних апаратів, яка базується на методах комп'ютерного зору та глибокого навчання. Запропонований підхід забезпечує високу точність і стабільність роботи навіть у складних умовах спостереження.

Реалізована система може бути використана у різних прикладних задачах, зокрема для відеоспостереження, аналізу дорожнього руху, контролю територій та автоматизації процесів моніторингу. Подальший розвиток роботи може бути спрямований на підвищення швидкодії системи, розширення функціоналу та інтеграцію з іншими інформаційними системами.

IoT-система керування енергоспоживанням в умовах особистих селянських господарств

Кісіль Олексій, Сіпко Олена
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Актуальність теми полягає в необхідності впровадження інноваційних технологій для ефективного управління енергоспоживанням у сільському господарстві. Метою дослідження є розробка IoT-системи для моніторингу та оптимізації витрат енергії в особистих селянських господарствах, що дозволить знизити енергоспоживання та покращити використання ресурсів.

Матеріали і методи. Об'єктами дослідження є процеси енергоспоживання в умовах особистих селянських господарств (ОСГ) із використанням сенсорів потужності, температури та вологості. Методика базується на побудові IoT-архітектури із застосуванням Edge-контролерів для первинної обробки даних та протоколу MQTT для бездротової передачі. Розрахунок енерговитрат проводиться за детермінованою моделлю $E = P \times t$. Аналіз результатів реалізовано методами описової статистики та алгоритмами машинного навчання для ідентифікації аномалій споживання, що дозволяє верифікувати ефективність автоматизованих сценаріїв керування.

Результати і обговорення. Експериментальне впровадження системи в ОСГ підтвердило її енергоефективність: загальне місячне споживання знизилось на 15,3% (з 850 до 720 кВт·год). Найбільша економія у 20% досягнута в секторі освітлення завдяки фоторелейним сценаріям та димуванню. Для насосних станцій (зниження на 14,3%) та обігрівачів (13,3%) оптимізація реалізована через гістерезисне керування за порогами температури й вологості. Аналіз добових профілів виявив зміщення пікових навантажень та ідентифікацію аномалій (перевищення ліміту на 15% через несправність клапана), що було оперативно усунуто за сповіщенням системи. Раціональний режим роботи обладнання забезпечує не лише економію коштів, а й подовження ресурсу пристроїв за рахунок мінімізації холостого ходу.

Висновки. Розроблена IoT-система є ефективним інструментом для прозорого моніторингу та автоматизованого керування енергоспоживанням в ОСГ, що забезпечує зниження витрат на 15,3%. Встановлені раціональні режими роботи обладнання (димування освітлення, гістерезисне керування обігрівачами) та алгоритми виявлення аномалій рекомендовані до впровадження для підвищення енергоефективності сільських територій.

Література

1. Patel P., Pathak A., Singh R. (2024), Secure and Scalable IoT Architecture for Smart Agriculture and Energy Monitoring, Journal of Cleaner Production, 421(1), pp. 138-148.
2. Li H., Zhou L., Wu Q. (2025), Data-Driven Energy Consumption Analysis and Forecasting in IoT-Enabled Smart Farms, Renewable Energy, 225(4), pp. 1201-1213.
3. Wang J., Zhang L. (2026), Real-time Monitoring and Edge Computing for Rural Energy Efficiency, International Journal of Energy Research, 50(2), pp. 415-429.
4. Garcia M., Fernandez D. (2024), MQTT-based Control Systems for Sustainable Farming: Performance and Scalability, Internet of Things, 25(8), pp. 1010-1018.

Шаблони проєктування у розробці ігор

Ковтун Артем, Олена Андріюк
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Проаналізовано загальні шаблони та патерни в розробці ігор з метою ознайомлення з типовими способами вирішення поширених проблем при проектуванні ігор, їх призначенням, та особливостями розробки.

Методи досліджень. Проведено аналіз тенденцій розробки сучасних комп'ютерних ігор, їхніх загальних напрямів, методів вирішення проблем. Розглянуто, які рішення приймались та типові підходи використовувалися, що відрізняється з метою унікалізації проєкту та його ідеї.

Результати і обговорення. У результаті проведеного аналізу встановлено, що шаблони та патерни програмування і дизайну є важливим інструментом у розробці комп'ютерних ігор, оскільки дозволяють вирішувати проблеми побудови ігрових систем. Було визначено, що більшість сучасних ігор використовують стандартні підходи, які забезпечують зручність масштабування, стабільність роботи та зменшення помилок, які могли виникнути в проєкті. Взагалі, розробка ігор або Gamedev — це сфера, де шаблони проєктування стикаються з жорсткими вимогами до продуктивності та величезною кількістю об'єктів, що взаємодіють між собою. Аналіз тенденцій розробки ігор показав, що під час проектування ігрових систем застосовуються типові рішення для вирішення поставлених задач. Основною метою використання шаблонів є зменшення складності програмної структури, підвищення гнучкості системи та спрощення процесу розробки. Встановлено, що розробники часто використовують стандартні підходи для створення ігрових моделей, стандартних механік та організації логіки гри, що значно прискорює процес розробки та впровадження більш спеціалізованих ідей для проєкту. Одним з найцікавіших шаблонів зараз є Entity Component System, скорочено ECS, який представляє собою цілу архітектурну парадигму, яка зараз домінує, наприклад, в Unity DOTS. Замість глибокої ієрархії наслідування, об'єкт є лише ID (Entity), який має набір даних (Components). Логіка винесена в окремі Systems. Це вирішує проблему "кеш-промахів" процесора. Дані компонентів лежать у пам'яті щільними масивами, що дозволяє обробляти тисячі об'єктів одночасно. Важливою складовою проектування є унікалізація ігрового процесу. Незважаючи на використання типових шаблонів, кожна гра має власні механіки, стиль та ідею, що відрізняє її від інших. Крім того, аналіз сучасних джерел показав, що використання готових ресурсів, зокрема 2D, 3D моделей та інструментів розробки, дозволяє значно скоротити час створення ігрових елементів та зосередитися на логіці гри. Таким чином, поєднання шаблонів проектування, готових ресурсів та індивідуальних рішень забезпечує ефективність розробки та покращує якість кінцевого проєкту.

Висновок. Результати дослідження можна використовувати для ознайомлення з темою проєктування комп'ютерних ігор. Вивчення основних шаблонів призводить до полегшення та прискорення проєктування ігор та їх складових, і надає змогу для створення власних ідей, які можуть бути застосовані в інших ігрових проектах.

Література

1. Лугова, Т. А. Проектування комп'ютерних ігор для навчання : навч. підручник / Т. А. Лугова, О. А. Блажко ; Одес. нац. політехн. ун-т. – Одеса, 2018. – 209 с.
2. Lou (2024), Топ 6 місць для отримання безкоштовних 3D моделей для ігор , Meshy

Нормативно-правове забезпечення наукової діяльності у галузі інформаційних технологій

Ольга Корнєва, Наталія Зубрецька
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. Ефективна організація наукової та науково-технічної діяльності у сфері інформаційних технологій потребує узгодженого нормативно-правового підґрунтя, яке визначає статус наукових кадрів, форми результатів досліджень та механізми їх фінансування. Це особливо актуально для цієї сфери в умовах інтеграції України до Європейського дослідницького простору, що обумовлює необхідність гармонізації національного законодавства та нормативного забезпечення з міжнародними стандартами. Нормативно-правова база науково-технічної діяльності в ІТ-галузі являє собою систему різнорівневих документів, яка сьогодні активно трансформується шляхом оновлення регламентуючих законів, класифікацій професій і галузей знань. З огляду на складність такої системи важливим є систематизація документів, оцінка їх узгодженості та впливу на розвиток науки та ІТ-технологій.

Методи і матеріали. Джерельну базу склали законодавчі та підзаконні акти України, національні стандарти та класифікації у сфері науки й освіти. Для досліджень використано загальнонаукові методи системного аналізу, синтезу, систематизації, класифікації та структурного моделювання.

Результати. Інформаційні технології є сферою діяльності, що поєднує наукові, практичні та когнітивні підходи, обумовлюючи складність її нормативного регулювання. Класифікація наук за предметом дослідження, ступенем практичного застосування та рівнем абстракції дозволила встановити, що ІТ-галузь є міждисциплінарною на перетині математики, технічних, природничих і суспільних наук, що визначає їхній особливий статус у системі наукового знання.

У результаті аналізу вимог Закону України «Про наукову та науково-технічну діяльність» виконано класифікацію та структурне моделювання об’єктів, суб’єктів, видів наукової діяльності, форм її наукового і прикладного результату, мети кожного виду діяльності та суб'єктів. За Національним класифікатором професій ДК 003:2010 (КП) визначено повний перелік кодів КП для фахівців спеціальностей ІТ-галузі та встановлено відповідність між типовими посадами після закінчення ЗВО та кодами КП. Оновлення КП сприяло узгодженню сучасних ІТ-спеціальностей із їх правовим статусом, зокрема у сферах штучного інтелекту та аналізу даних. Водночас темпи розвитку ІТ-галузі перевищують швидкість оновлення нормативної бази, що потребує запровадження механізму її безперервної актуалізації. Трансформація напрямків підготовки фахівців ІТ-галузі у систему F1–F7 відображає сучасні глобальні тренди її розвитку, проте механізми міжнародного визнання наукових ступенів залишаються недостатньо врегульованими.

Дослідження системи національних стандартів в галузі дало можливість виділити групи стандартів: якості ПЗ, інформаційної безпеки, управління та документування ІТ. Встановлено, що переважна більшість ДСТУ гармонізовані з міжнародними стандартами ISO/IEC, що формує основу для підвищення якості ПЗ.

Висновки. У результаті досліджень обґрунтовано тенденцію розширення структури ІТ-галузі та інтеграцію її нормативно-правової бази з міжнародними стандартами. Водночас виявлено проблеми фрагментарності нормативного регулювання та неузгодженості окремих положень і темпів оновлення нормативних документів від динаміки розвитку ІТ-галузі.

Моделювання та розроблення веб-орієнтованої системи управління замовленнями ресторану японської кухні

Владислав Косарич, Олена Харкянен
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасний етап розвитку індустрії гостинності характеризується автоматизацією сервісних процесів. В умовах високої конкуренції на ринку FoodTech, наявність власної веб-платформи для замовлень дозволяє ресторанам не лише мінімізувати витрати на комісійні відрахування стороннім агрегаторам, а й побудувати пряму комунікацію з клієнтом. Розробка і впровадження гнучкого інструменту управління продажами, який враховує специфіку ресторану японської кухні (короткий термін зберігання готових блюд, складність комплектації тощо) та забезпечує високу швидкість обробки даних є актуальною задачею.

Матеріали і методи. Досліджується інформатизація процесів управління відділу доставки ресторану японської кухні. Застосовано системний підхід та об'єктно-орієнтовану методологію проєктування. Використано CASE-засоби, зокрема нотацію BPMN 2.0, для візуалізації бізнес-процесів відділу доставки та алгоритмів взаємодії користувача із сервером. Програмна розробка інформаційної системи (ІС) здійснена на базі високорівневої мови Python із використанням фреймворку Django, який реалізує архітектурний патерн MVT (Model-View-Template).

Результати і обговорення. Аналіз діяльності відділу доставки ресторану японської кухні дозволив сформувати перелік функціональних вимог до створюваної ІС. Розроблена система забезпечує дворівневе управління: клієнтський інтерфейс та адміністративну панель для менеджерів ресторану. Особлива увага приділена розробці структури реляційної бази даних у середовищі MySQL. Використання вбудованої ORM-системи Django забезпечило високий рівень безпеки даних, захищаючи систему від SQL-ін'єкцій. Економічний ефект від впровадження розробленого рішення досягається за рахунок автоматизації рутинних операцій. Згідно з розрахунками, система дозволяє обробляти в середньому на 9 замовлень клієнтів на добу більше, ніж при ручній обробці, що при середньому чистому прибутку в 133 грн. за одиницю, забезпечує місячний приріст прибутку близько 36000 грн. Термін окупності проєкту за розрахованим коефіцієнтом ефективності становить приблизно 2 місяці.

Висновки. Здійснено проектування і розробку веб-орієнтованої інформаційної системи, що є ефективним інструментом автоматизації отримання і обробки замовлень ресторану японської кухні. Використання стеку технологій Python/Django забезпечує стабільність роботи інформаційної системи, її масштабованість та можливість подальшого розширення функціоналу (наприклад, додавання модулів лояльності або Refund). Перехід на власні цифрові рішення дозволяє закладам громадського харчування суттєво підвищувати якість обслуговування клієнтів, оптимізувати власні процеси управління та внутрішні витрати.

Література.

1. Лаудон К. С., Лаудон Дж. П. Управлінські інформаційні системи: управління цифровою фірмою. 16-те вид. Гарлоу : Pearson, 2020. 669 с.

2. Пасічник, В. В. Сховища даних : навч. посібник / В. В. Пасічник, Н. Б. Шаховська ; за наук. ред. В. В. Пасічника. – 2-ге вид., стер. – Львів : Магнолія 2006, 2024. – 492 с.

Автоматизована система підтримки прийняття рішень на основі нормативної документації

Олександр Кривець, Олена Харкянен
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасних умовах функціонування підприємств, діяльність яких пов'язана з підвищеними ризиками, важливу роль відіграє швидке та обґрунтоване прийняття рішень у штатних і надзвичайних ситуаціях. Основним джерелом знань для цього є нормативна та технічна документація, яка, однак, використовується недостатньо ефективно через складність і великий обсяг.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є процес формування рекомендацій в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень на основі нормативної документації. У роботі використано текстові документи підприємств (інструкції, регламенти, правила безпеки) та описові моделі виробничих ситуацій. Методологічну основу становлять методи обробки природної мови, семантичного аналізу та векторного представлення текстів, а також підхід Retrieval-Augmented Generation. Для побудови структури системи застосовано методи системного аналізу.

Результати і обговорення. Запропоновано концепцію інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, що використовує нормативну документацію як основне джерело знань. Система забезпечує автоматичне перетворення текстових документів у структуровану базу знань та формування рекомендацій для користувачів.

Функціонування системи описується залежністю: R = DSS(X, D, C), де X — поточні дані, D — документація, C — контекст, R — рекомендації.

Основними етапами роботи системи є завантаження документації, обробка текстів і виділення знань, формування бази знань, аналіз поточної ситуації та генерація рекомендацій. Особливістю запропонованого підходу є використання семантичного аналізу текстів, що дозволяє враховувати зміст документів, а не лише формальні правила, та забезпечує адаптацію системи до специфіки конкретного підприємства.

Основні функції системи: підтримка прийняття рішень у надзвичайних ситуаціях; автоматичне формування рекомендацій; консультаційна підтримка; інтеграція даних у реальному часі; валідація та контроль рішень.

На відміну від традиційних систем підтримки прийняття рішень, запропонована система не потребує повного ручного формалізування знань, що значно спрощує її впровадження та оновлення при зміні нормативної бази. Крім того, інтеграція з даними моніторингу дозволяє враховувати поточний стан об'єкта в реальному часі.

Система може застосовуватись на промислових підприємствах, в енергетиці, транспорті та системах цивільного захисту. Її використання дозволяє скоротити час пошуку інформації, підвищити обґрунтованість та оперативність прийняття рішень, а також знизити ризик помилок персоналу, зокрема в умовах надзвичайних ситуацій.

Висновки. Запропонована концепція інтелектуальної системи забезпечує ефективне використання нормативної документації та створює основу для розробки адаптивних систем підтримки прийняття рішень у реальному часі.

Література

Smith, J., & Brown, T. (2023). The integration of artificial intelligence in supervisory control and data acquisition (SCADA) systems. Journal of Industrial Automation, 45(3), 123–135.

IoT-система моніторингу та управління теплицею для вирощування чорної смородини

Крюков Дмитро, Олена Сіпко
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Актуальним напрямом розвитку агропромислового сектору є впровадження технологій Інтернету речей (IoT) для автоматизації процесів вирощування сільськогосподарських культур у тепличних умовах. Сучасні системи моніторингу мікроклімату дозволяють здійснювати безперервний контроль таких параметрів, як вологість ґрунту, температура та вологість повітря, що є критично важливими для забезпечення стабільного росту рослин і підвищення врожайності. Автоматизація поливу сприяє раціональному використанню водних ресурсів, зниженню трудових витрат і підвищенню ефективності агротехнологічних процесів. Використання інтелектуальних систем керування дає змогу адаптувати режими зрошення до змінних умов середовища та забезпечувати оптимальні умови для розвитку рослин.

Методи досліджень. Дослідження виконано із застосуванням IoT-системи, що включає сенсори вологості ґрунту, температури та вологості повітря (зокрема DHT-22 та BME280), контролери збору й передачі даних, виконавчі механізми поливу та сервер із реляційною базою даних. Сенсори забезпечують отримання показників мікроклімату з необхідною точністю та передають їх на центральний вузол обробки. Для моделювання структури та функціонування системи використано нотації BPMN, IDEF0, IDEF3, DFD та UML, що дозволило формалізувати інформаційні потоки та взаємодію компонентів. Програмну реалізацію здійснено мовою C# із використанням .NET Framework. Обробка даних передбачає аналіз сенсорних показників у реальному часі, їх порівняння із заданими пороговими значеннями та автоматичне прийняття рішень щодо керування режимами поливу.

Результат і обговорення. У результаті дослідження розроблено прототип IoT-системи автоматичного поливу теплиці, який забезпечує безперервний моніторинг параметрів мікроклімату та оперативне керування зрошенням. Система дозволяє підтримувати оптимальний рівень вологості ґрунту відповідно до встановлених умов, що сприяє стабільному розвитку рослин. Використання автоматизованого підходу забезпечує зменшення перевитрат водних ресурсів і зниження ризику виникнення захворювань, пов’язаних із надмірним або недостатнім зволоженням. У системі реалізовано механізми накопичення історичних даних і журналювання подій у базі даних MySQL. Це дає змогу здійснювати подальший аналіз роботи системи, виявляти закономірності змін параметрів мікроклімату та ефективності поливу. Накопичені дані можуть бути використані для побудови аналітичних звітів, оптимізації режимів роботи системи та впровадження прогнозувальних моделей. Крім того, система може бути масштабована шляхом інтеграції додаткових сенсорів, наприклад, освітленості або рівня CO2, що дозволить ще точніше контролювати умови вирощування. Також можливе підключення веб- або мобільного інтерфейсу для дистанційного моніторингу та керування системою користувачем.

Висновок. Запропонована IoT-система забезпечує ефективний моніторинг і автоматизацію поливу чорної смородини в тепличних умовах. Її використання сприяє оптимізації ресурсів, підвищенню стабільності росту рослин і покращенню агротехнічних показників. Перспективами розвитку є інтеграція методів машинного навчання, хмарних технологій і мобільних застосунків.

Ризики інтеграції інструментів штучного інтелекту в навчання програмуванню на початковому рівні

Марина Кудрявцева, Владислав Євдокименко,
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Вступ. Штучний інтелект (ШІ) усе частіше використовується початківцями у сфері інформаційних технологій (ІТ) у якості допоміжного засобу для опанування нових тем або концепцій. Важливо з'ясувати, чи сприяє використання ШІ підвищенню ефективності навчального процесу, чи може мати негативні наслідки для підготовки майбутніх фахівців. У зв'язку з цим доцільно дослідити вплив застосування методів ШІ на розвиток мислення майбутніх програмістів.

Матеріали і методи. Проаналізовано дослідження компанії Anthropic, яка є одним з провідних лідерів у сфері ШІ, відома завдяки мовній моделі «Claude» [1]. У дослідженні брали участь дві групи програмістів, одні використовували методи ШІ, тоді як друга група працювала традиційними засобами програмування. Також проаналізована робота [2], яка пояснює роботу людського мозку – це допомагає розібратися на біологічному рівні, чому ШІ ставить під загрозу навчання початківців, бо нейробіологія дозволяє зрозуміти як працює процес розвитку мислення.

У дослідженні взяли участь загалом 52 інженери-програмісти переважно початкового рівня. Учасники мали щонайменше річний досвід програмування мовою Python. Крім того, вони мали досвід роботи з ШІ-асистентами для написання коду, але не були знайомі з бібліотекою Trio, що забезпечувало однакові стартові умови для виконання завдання. Експеримент складався з трьох послідовних етапів: розминка – коротке підготовче завдання; основне завдання – написання двох функцій із використанням бібліотеки Trio; тестування – перевірка результатів. Учасників заздалегідь попередили про наявність етапу тестування.

Результати. У середньому програмісти, які використовували ШІ-асистентів, завершили роботу на дві хвилини швидше. Водночас якість виконання виявилася різною: група без використання ШІ отримала на 17 % вищі результати під час підсумкового оцінювання. Найбільша різниця між групами проявилася під час виправлення помилок. Учасники, які працювали без ШІ, зіткнулися з більшою кількістю помилок, однак саме це сприяло розвитку їхніх навичок дебагінгу та глибшому розумінню коду. Вони були змушені самостійно аналізувати причини виникнення помилок і знаходити способи їх усунення. Навпаки учасники, що значною мірою покладалися на ШІ, продемонстрували середній рівень результатів менше ніж 40 %, що може свідчити про менш розвинене самостійне мислення.

Висновки. Дослідження показують, що мозок природно прагне мінімізувати зусилля, тому люди схильні обирати рішення, що дозволяють швидше отримати результат із мінімальними зусиллями. Використання ШІ-інструментів часто надає цю можливість. Проте надмірна залежність від готових рішень може зменшувати ефект навчання: не формуються нові нейронні зв'язки, не відбувається глибоке осмислення процесу, а готова інформація не стимулює активну когнітивну діяльність. Активна робота з інформацією сприяє формуванню нових та стійких знань.

Література

1. Shen J. H., Tamkin A. How AI Impacts Skill Formation. arXiv preprint, 2026. arXiv:2601.20245. URL: https://www.anthropic.com/research/AI-assistance-coding-skills

2. MCV van Rossum M. C. W. Competitive plasticity to reduce the energetic costs of learning. arXiv preprint, 2023. arXiv:2304.02594. URL: https://arxiv.org/abs/2304.02594

Методи використання систем штучного інтелекту для підтримки прийняття рішень в задачах медичної діагностики

Марина Кудрявцева, Антон Жук
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Вступ. Використання інтелектуальних систем сприяє підвищенню точності медичної діагностики, прискоренню аналізу клінічних даних та забезпеченню підтримки прийняття рішень для медичних фахівців. Особливо актуальним є застосування штучного інтелекту (ШІ) в умовах постійного зростання обсягів медичних даних, які включають результати лабораторних досліджень, медичні зображення, електронні медичні записи та фізіологічні сигнали.

Матеріали і методи. Завдяки здатності обробляти значні обсяги медичних даних та виявляти складні закономірності, алгоритми машинного навчання дозволяють підвищити ефективність клінічних процесів та покращити якість прийняття медичних рішень. Одним із найбільш поширених напрямів застосування таких технологій є аналіз медичних зображень. Методи глибокого навчання дають змогу автоматично виявляти патологічні зміни на медичних зображеннях, що сприяє підвищенню точності діагностики та полегшує роботу лікарів-радіологів.

Важливим напрямом використання ШІ є розробка систем підтримки клінічних рішень, які допомагають лікарям формувати рекомендації щодо діагностики та вибору методів лікування. Крім того, алгоритми ШІ застосовуються для моніторингу стану пацієнтів та прогнозування розвитку захворювань. Вони здатні аналізувати показники життєдіяльності в режимі реального часу, виявляти аномальні зміни та попереджати про можливі ускладнення. Додатково використовуються методи аналізу природної мови для обробки медичної документації. Значний потенціал має також напрям персоналізованої медицини, де алгоритми машинного навчання використовуються для аналізу генетичних, клінічних та поведінкових даних з метою формування індивідуальних підходів до лікування пацієнтів.

Результати. Використання методів ШІ в аналізі медичних зображень дозволяє підвищити точність та швидкість діагностики захворювань. Застосування алгоритмів глибокого навчання забезпечує автоматичне виявлення патологічних змін на медичних зображеннях, що сприяє ефективному аналізу великих обсягів медичних даних. Використання таких технологій у поєднанні з експертною оцінкою лікаря дозволяє підвищити достовірність результатів діагностики, оптимізувати клінічні процеси та покращити якість медичної допомоги.

Висновки. Проведене дослідження підтверджує значний потенціал використання систем ШІ у задачах медичної діагностики. Аналіз сучасних наукових джерел та підходів до побудови інтелектуальних медичних систем показав, що методи машинного та глибокого навчання здатні ефективно обробляти великі обсяги медичних даних і сприяти підвищенню точності діагностичних рішень [1]. Результати проведеного аналізу створюють теоретичне підґрунтя для експериментальних досліджень, спрямованих на визначення оптимальних архітектур машинного навчання та їх інтеграцію у системи підтримки прийняття рішень.

Література.

1. V. Filatov, A. Yerokhin, O. Zolotukhin, M. Kudryavtseva Methods of intellectual analysis of processes in medical information systems Methods of intellectual analysis of processes in medical information systems. Information Extraction and Processing. 2020, 48(124), 92-98. DOI:https://doi.org/10.15407/vidbir2020.48.092

Використання підходу вайб-кодингу в освітньому процесі з програмування: переваги та можливі ризики

Марина Кудрявцева, Борис Черкашин
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Вступ. Протягом декількох років серед програмістів помітно набирає популярність підхід вайб-кодинг. Цей метод формулює завдання через текстовий запит (промпт), а більшість коду створюють системи штучного інтелекту (ШІ). Для фахівців з набутим досвідом такий метод призводить до пришвидшення роботи та автоматизації процесів.

Матеріали і методи. Для оцінки впливу вайб-кодингу на навчання проаналізовано сучасні дослідження, що дозволяє обґрунтувати можливості та ризики [1].

Результат. Сучасні наукові роботи показують інтенсивне залучення студентами генеративних засобів ШІ, яке змінює саму природу опанування навичками програмування. Якщо програмний код отримується у готовій формі без ретельного осмислення задачі, це може послабити розвиток алгоритмічного мислення. Це також знижує здатність виявляти й виправляти помилки. Схожі закономірності зафіксовані у праці Rahe та Maalej, де вказується, що учні схильні застосовувати ШІ краще для отримання миттєвих рішень, аніж для глибшого розуміння проблематики завдання. Наукові дослідники зазначають зв'язок між тим, як часто використовують ШІ інструменти, та успішністю у навчанні програмуванню, але висновки таких робіт залишаються неоднозначними і потребують додаткового вивчення, тому виникає необхідність контрольованого впровадження нових технологій у навчальний процес.

Окрім того, протягом 2020–2025 років спостерігається зниження активності на платформі Stack Overflow, це пов'язано із зростанням використання ШІ асистентів для вирішення усіх видів питань, підтверджуючи вплив AI на процес навчання (рис. 1).

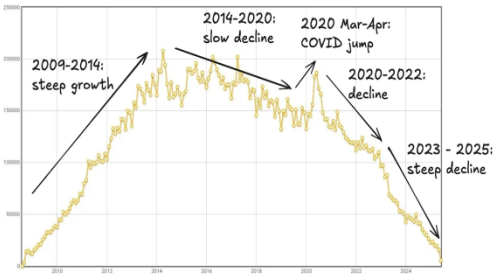


Рис. 1. Графік кількості запитань на Stack Overflow з 2009 по 2025 роки

Висновки. Сучасний ШІ докорінно змінює методи у сфері створення програмного забезпечення та організації підготовки фахівців із програмування. Безперечно, це підвищує ефективність роботи, але надмірне використання таких інструментів може зашкодити формуванню ключових компетенцій розробника. Навчальна програма повинна передбачати використання можливостей ШІ переважно як допоміжного інструменту для пояснення матеріалу та підтримки навчального процесу.

Література

1. Rahe, C., & Maalej, W. (2025). How Do Programming Students Use Generative AI? *ArXiv.org*. https://doi.org/10.1145/3715762

Ансамблеві методи прогнозування в умовах економічної нестабільності

Павло Кучер[1], Сергій Корж[2]
[1]*Національний транспортний університет, Київ, Україна*
[2]*Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка*

Вступ. Сучасні економічні системи характеризуються високим рівнем невизначеності, спричиненої кризовими явищами: пандеміями, збройними конфліктами та геополітичними змінами. Наслідком таких шоків є різкі структурні зламини у динаміці товарних ринків, що суттєво ускладнює задачу прогнозування. В таких умовах традиційні методи прогнозування часових рядів – моделі ARIMA, експоненційне згладжування – суттєво знижують точність через порушення базових припущень про стаціонарність і стабільність структури даних. Це актуалізує пошук альтернативних підходів, здатних адаптуватися до мінливого середовища. Ансамблеві методи, що поєднують прогнози декількох моделей різних класів, розглядаються у сучасній літературі як один із найперспективніших напрямів у цьому контексті: завдяки диверсифікації модельних припущень вони демонструють вищу стійкість до аномалій і структурних зламів. Дослідження їх ефективності на українських товарних ринках, що пережили кілька кризових шоків підряд, є актуальним як з теоретичного, так і з практичного погляду.

Матеріали і методи. У роботі розглядаються підходи до побудови ансамблевих моделей прогнозування на основі поєднання методів різних класів: статистичних (SARIMA), моделей декомпозиції (Facebook Prophet), методів машинного навчання (градієнтний бустинг) та нейромережевих архітектур (N-BEATS). Аналізуються три основні стратегії ансамблювання: просте усереднення прогнозів, зважене усереднення та стекінг із використанням мета-моделі. Для порівняння ефективності підходів розглядаються стандартні метрики якості прогнозування: MAE, MAPE та RMSE. Особливу увагу приділено поведінці моделей у кризових фазах, що характеризуються структурними зламами та різкими змінами динаміки часових рядів.

Результати. Аналіз літератури та порівняння методологічних підходів свідчать про те, що ансамблеві методи загалом демонструють вищу стійкість до нестабільності порівняно з окремими базовими моделями. Встановлено, що жодна з індивідуальних моделей не забезпечує стабільно високої точності впродовж усіх фаз економічного циклу, тоді як їх поєднання дозволяє компенсувати слабкі сторони кожної з них. Просте усереднення виявляється найбільш консервативним підходом і може бути доцільним за умов крайньої невизначеності. Зважене ансамблювання та стекінг потенційно забезпечують вищу точність, однак потребують достатнього обсягу навчальних даних і чутливі до вибору валідаційного періоду. Включення нейромережевих компонентів до складу ансамблю може поліпшити прогнозування на середньостроковому горизонті, особливо для ринків із вираженою сезонністю.

Висновки. Ансамблеві підходи є перспективним інструментом прогнозування в умовах економічної нестабільності, оскільки дозволяють підвищити стійкість прогнозів без прив'язки до єдиної моделі. Вибір стратегії ансамблювання має здійснюватися з урахуванням наявності даних, горизонту прогнозування та характеру кризового явища. Перспективою подальших досліджень є розробка адаптивних ансамблів із динамічним перезважуванням, що дозволить оперативно реагувати на зміну ринкової кон'юнктури.

Ансамблеві методи прогнозування в умовах економічної нестабільності

Кучер Павло
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. Сучасні економічні системи характеризуються високим рівнем невизначеності, спричиненої кризовими явищами: пандеміями, збройними конфліктами та геополітичними змінами. Наслідком таких шоків є різкі структурні зламини у динаміці товарних ринків, що суттєво ускладнює задачу прогнозування. В таких умовах традиційні методи прогнозування часових рядів – моделі ARIMA, експоненційне згладжування – суттєво знижують точність через порушення базових припущень про стаціонарність і стабільність структури даних. Це актуалізує пошук альтернативних підходів, здатних адаптуватися до мінливого середовища. Ансамблеві методи, що поєднують прогнози декількох моделей різних класів, розглядаються у сучасній літературі як один із найперспективніших напрямів у цьому контексті: завдяки диверсифікації модельних припущень вони демонструють вищу стійкість до аномалій і структурних зламів. Дослідження їх ефективності на українських товарних ринках, що пережили кілька кризових шоків підряд, є актуальним як з теоретичного, так і з практичного погляду.

Матеріали і методи. У роботі розглядаються підходи до побудови ансамблевих моделей прогнозування на основі поєднання методів різних класів: статистичних (SARIMA), моделей декомпозиції (Facebook Prophet), методів машинного навчання (градієнтний бустинг) та нейромережевих архітектур (N-BEATS). Аналізуються три основні стратегії ансамблювання: просте усереднення прогнозів, зважене усереднення та стекінг із використанням мета-моделі. Для порівняння ефективності підходів розглядаються стандартні метрики якості прогнозування: MAE, MAPE та RMSE. Особливу увагу приділено поведінці моделей у кризових фазах, що характеризуються структурними зламами та різкими змінами динаміки часових рядів.

Результати. Аналіз літератури та порівняння методологічних підходів свідчать про те, що ансамблеві методи загалом демонструють вищу стійкість до нестабільності порівняно з окремими базовими моделями. Встановлено, що жодна з індивідуальних моделей не забезпечує стабільно високої точності впродовж усіх фаз економічного циклу, тоді як їх поєднання дозволяє компенсувати слабкі сторони кожної з них. Просте усереднення виявляється найбільш консервативним підходом і може бути доцільним за умов крайньої невизначеності. Зважене ансамблювання та стекінг потенційно забезпечують вищу точність, однак потребують достатнього обсягу навчальних даних і чутливі до вибору валідаційного періоду. Включення нейромережевих компонентів до складу ансамблю може поліпшити прогнозування на середньостроковому горизонті, особливо для ринків із вираженою сезонністю.

Висновки. Ансамблеві підходи є перспективним інструментом прогнозування в умовах економічної нестабільності, оскільки дозволяють підвищити стійкість прогнозів без прив'язки до єдиної моделі. Вибір стратегії ансамблювання має здійснюватися з урахуванням наявності даних, горизонту прогнозування та характеру кризового явища. Перспективою подальших досліджень є розробка адаптивних ансамблів із динамічним перезважуванням, що дозволить оперативно реагувати на зміну ринкової кон'юнктури.

Застосування Temporal Fusion Transformer для прогнозування часових рядів

Кучер Павло
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. Прогнозування часових рядів є однією з центральних задач аналізу даних у широкому спектрі прикладних галузей – від економіки та логістики до енергетики та охорони здоров'я. Класичні статистичні підходи, такі як ARIMA та експоненційне згладжування, добре зарекомендували себе за умов стаціонарності та лінійної залежності, проте суттєво втрачають точність при роботі зі складними нелінійними патернами, тривалими залежностями та різнорідними вхідними ознаками. Методи машинного навчання – градієнтний бустинг, рекурентні нейронні мережі – частково вирішують ці обмеження, однак мають власні недоліки: LSTM та GRU погано масштабуються на довгі горизонти прогнозування, а більшість моделей залишаються «чорними скриньками», що ускладнює їх інтерпретацію. У цьому контексті архітектура Temporal Fusion Transformer (TFT), запропонована Bryan Lim et al. (2021), є суттєвим кроком уперед: вона поєднує механізми уваги, гейтові мережі та компоненти рекурентності в єдиній багатозадачній архітектурі, що забезпечує як високу точність, так і інтерпретованість прогнозів.

Матеріали і методи. TFT належить до класу трансформерних архітектур, адаптованих для роботи з часовими рядами. Ключовими структурними елементами моделі є: механізм відбору змінних на основі Gated Residual Networks (GRN), що дозволяє автоматично виявляти значущі ознаки; рекурентний шар (LSTM), який кодує короткострокові часові залежності; інтерпретований механізм уваги (Interpretable Multi-Head Attention), що явно моделює довгострокові залежності; та шар квантильної регресії, який забезпечує отримання не лише точкових прогнозів, а й довірчих інтервалів. Важливою особливістю TFT є здатність одночасно обробляти три типи вхідних даних: статичні коваріати (незмінні характеристики об'єкту), відомі майбутні входи (наприклад, дати свят, заплановані події) та спостережувані змінні минулого. Це суттєво розширює виразну здатність моделі порівняно з архітектурами, що працюють лише з одновимірним рядом.

Результати. Аналіз наукових публікацій свідчить про те, що TFT стабільно перевищує базові методи прогнозування на широкому класі задач. На бенчмарках M4 та M5 (конкурси з прогнозування Makridakis) модель демонструє конкурентні результати за метриками MAE, RMSE та sMAPE. Суттєвою перевагою TFT є механізм інтерпретованості: ваги уваги дозволяють виявити, які часові точки минулого мали найбільший вплив на прогноз, а оцінки важливості змінних – визначити найбільш інформативні ознаки. Це робить модель практично цінною не лише як інструмент прогнозування, а й як засіб аналізу структури часових залежностей у даних. Квантильні виходи TFT дозволяють будувати інтервальні прогнози, що є критично важливим для задач управління ризиками та прийняття рішень в умовах невизначеності.

Висновки. TFT є перспективною архітектурою для прогнозування часових рядів, що поєднує точність, здатність працювати з різнорідними даними та інтерпретованість результатів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на порівняльний аналіз TFT з сучасними архітектурами (Informer, PatchTST, TimesNet) та його апробацію на реальних галузевих наборах даних.

Автоматизація моніторингу клієнтського обладнання на основі інтеграції IoT-пристроїв у логістичну CRM-систему

Денис Луцак, Ігор Пархомей
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Сучасна логістична галузь критично залежить від безперебійної роботи спеціалізованого обладнання: конвеєрів, холодильних установок та систем зберігання. Будь-який непередбачуваний простій призводить до значних фінансових втрат. Метою дослідження є розробка автоматизованої системи моніторингу на базі IoT, інтегрованої в CRM-систему, для переходу від реактивного до предиктивного обслуговування.

Матеріали і методи. Модель системи базується на трирівневій архітектурі: апаратний рівень (ESP32), рівень Edge-обробки (Python) та хмарний рівень CRM. Для збору телеметрії (температура, вібрація, живлення) використано мікроконтролери ESP32 з протоколом MQTT та механізмами QoS для забезпечення цілісності даних. Обробка даних здійснювалася за допомогою Python-скриптів, що використовують REST API для автоматичного створення інцидентів у CRM-системі.

Результати та обговорення. Впровадження автоматизованої передачі даних у режимі реального часу дозволяє CRM-системі самостійно генерувати завдання для ремонтних бригад до моменту виникнення критичної поломки. За результатами аналізу, очікується:

- зниження середнього часу реакції на критичні інциденти на 40%;
- зменшення кількості повних зупинок обладнання на 25%;
- скорочення операційних витрат на планові перевірки на 30%. Система ефективно фіксує не лише збої, а й поступову деградацію параметрів, що свідчить про знос деталей.

Висновки. Інтеграція IoT-пристроїв у логістичну CRM-систему є економічно доцільним рішенням, яке трансформує бізнес-процеси та робить їх стійкими до технічних збоїв. Запропонована модель оптимізує роботу персоналу та забезпечує надійний канал передачі телеметрії.

Література

4. Kumar A., Singh R. (2023), Internet of Things (IoT) in modern logistics: Architecture, applications, and challenges, Journal of Supply Chain Management and Technology, 14(2), pp. 112-128.
5. Мельник О. В., Коваленко І. М. (2024), Застосування мікроконтролерів ESP32 для побудови промислових систем моніторингу, Сучасні інформаційні системи, 8(1), pp. 45-53.
6. Davis P., Johnson M., Lee K. (2025), Predictive Maintenance in the Era of Industry 4.0: Integrating Edge Computing and Cloud CRM, IEEE Internet of Things Journal, 12(3), pp. 410-425.

Інтерактивний застосунок для медсестри освітнього закладу

Максименко Іван, Мирослава Гладка
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Вступ. Цифровізація освітнього середовища потребує автоматизації обліку медичної інформації учнів. Метою роботи є розробка інтерактивного застосунку для оптимізації діяльності медичної сестри освітнього закладу та підвищення ефективності моніторингу стану здоров'я учнів.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є процес ведення медичної документації в освітньому закладі. Для розробки застосунку використано методи системного аналізу, моделювання інформаційних процесів та проєктування клієнт-серверних інформаційних систем. Програмна реалізація виконана із застосуванням платформи Node.js для серверної частини та бібліотеки React для створення інтерактивного користувацького інтерфейсу. Проведено аналіз функціональних потреб медичного персоналу та моделювання структури бази даних.

Результати та обговорення. Розроблено інтерактивний вебзастосунок із модульною архітектурою, що включає підсистеми: ведення електронних медичних карток, контроль вакцинації, облік звернень та формування звітності. Реалізовано REST-API для обміну даними між клієнтською та серверною частинами. Забезпечено авторизацію користувачів із розмежуванням прав доступу.

Впроваджено механізм автоматичних нагадувань про планові щеплення та періодичні медичні огляди. Реалізовано фільтрацію та пошук даних за ключовими параметрами.

Експериментальна апробація показала, що використання застосунку дозволяє скоротити час обробки медичної інформації на 35–40 %, а також зменшити кількість помилок у документації до 20 % за рахунок автоматизації введення та перевірки даних. Архітектура системи забезпечує масштабованість і можливість інтеграції з іншими інформаційними сервісами.

Висновки. Розроблений інтерактивний застосунок підвищує ефективність роботи медичної сестри та забезпечує автоматизацію обліку здоров'я учнів. Запропоноване рішення може бути використане для впровадження цифрових медичних інформаційних систем у закладах освіти.

Література.

1. Андрейко, С. С., Андрейко, С. С., Новак, О. В., & Новак, О. В. (2021). Інноваційні освітні практики при викладанні медсестринства у внутрішній медицині в сучасних умовах навчання.
2. Мигаль, А., Трамбовецька, Н., Єрьоменко, Н., Ігнащук, О., Артеменко, В., Степурко, Т., ... & Єременко, О. (2021). Компетентнісний підхід у медичній освіті: методичний посібник.
3. Томчук, А. М. (2025). Цифрові інструменти організації діяльності закладу охорони здоров'я (Doctoral dissertation, Тернопіль, ЗУНУ).

Принципи SOLID на практиці

Павло Могилевський, Олена Андріюк
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасна розробка програмного забезпечення (ПЗ) вимагає високої гнучкості та легкості в підтримці коду. Принципи SOLID, сформульовані Робертом Мартіном, є фундаментом об'єктно-орієнтованого проектування, що дозволяє створювати системи, які легко масштабуються та тестуються. Метою роботи є аналіз практичного застосування цих принципів для запобігання деградації коду.

Методи досліджень. У роботі використано методи системного аналізу, рефакторингу та порівняльного моделювання програмних структур. Об'єктом дослідження виступили типові архітектурні патерни в розробці корпоративних систем.

Результати і обговорення. Дослідження показало, що SOLID є фундаментом чистого коду в об'єктно-орієнтованому програмуванні, який складається з 5 принципів. Головне завдання — зробити систему гнучкою, зрозумілою та легкою для підтримки. S - Single Responsibility Principle є принципом єдиної відповідальності. Згідно до цього принципу кожен клас повинен виконувати лише одну задачу, лише одну логічну функцію. O - Open/Closed Principle є принципом відкритості/закритості, за яким програмні сутності мають бути відкритими для розширення, але закритими для модифікації. Не потрібно змінювати вже протестований старий код, щоб додати нову функцію. Поганою практикою у такому контексті є використання великих блоків switch або if-else для обробки різних типів даних. Практичним рішенням буде у цьому випадку буде використання інтерфейсів. L - Liskov Substitution Principle – це принцип підстановки Лісков. Об'єкти у програмі мають бути замінюваними на екземпляри їхніх підтипів без зміни правильності виконання програми. Спадкоємець не повинен «ламати» очікувану поведінку батьківського класу. Якщо підклас не може виконувати всі дії базового класу або змінює їхню суть, практичним рішенням буде використати композицію або виділити спільний інтерфейс, але не успадковувати їх напряму. I - Interface Segregation Principle - принцип розділення інтерфейсу, за яким краще багато спеціалізованих інтерфейсів, ніж один універсальний. D - Dependency Inversion Principle - принцип інверсії залежностей. Залежати можна від абстракцій, а не від конкретних реалізацій. Це дозволяє легко «відстиковувати» одні частини програми від інших.

Встановлено, що надмірне захоплення принципами без врахування контексту може призвести до «overengineering» — ускладнення структури, де кількість класів та інтерфейсів стає надлишковою. Оптимальним є баланс між чистим кодом та швидкістю розробки.

Висновок. Застосування принципів SOLID на практиці значно знижує технічний борг та витрати на підтримку ПЗ у довгостроковій перспективі, але і може зашкодити ускладненням структури. Найбільший вплив на стабільність системи має принцип інверсії залежностей, що забезпечує низьку зв'язність компонентів.

Література

1. Martin R. C. (2018), Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design, Prentice Hall, p. 432.
2. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. (1994), Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software, Addison-Wesley, p. 395.

Створення автономних БПЛА для завдань інвентаризації та прогнозування псування продукції на складах

Мороз Денис Юрійович, Андріюк Олена Петрівна
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Створення автономних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є перспективним інструментом для поліпшення інвентаризації складських приміщень. Особливої уваги набуває можливість вирішення ними завдань прогнозування псування продукції на основі аналізу даних з оснащених сенсорів, отриманих у режимі реального часу.

Методи досліджень. Для дослідження створення автономних БПЛА для складських приміщень використовувалися такі методи: аналіз, порівняння та дедуктивний метод. Аналіз здійснювався для визначення основних модулів автономних БПЛА, переваг та обмежень їх застосування для вирішення завдань складських приміщень.

Результати і обговорення. Проектування автономних БПЛА для інвентаризації та прогнозування псування продукції на складах передбачає наступні модулі. Основним елементом є модуль навігації та позиціонування, що дозволяє апарату орієнтуватися у просторі складу та безпечне переміщення між стелажами. Використання технологій SLAM, LiDAR або камер високої роздільної здатності дозволяє створювати точну тривимірну карту приміщення та відстежувати рухи. Далі сенсорний модуль, який відповідає за збір даних про стан продукції. До нього входять камери для візуального контрою, температурні, вологісні та газові сенсори. На основі зібраних даних можна визначати ознаки псування продукції, контролювати запаси. Для обробки та передачі даних використовується обчислювальний модуль та комунікаційний модуль, що забезпечує аналіз отриманої інформації за допомогою алгоритмів машинного навчання та передає результати у центральні системи управління складом. Це дозволяє завчасно прийняти рішення для вирішення потенційних проблем. Аналіз існуючих систем автономних БПЛА показує низку переваг. До основних відносяться підвищення точності інвентаризації, зменшення людських помилок, можливість регулярного та безперервного контролю складів без залучення додаткового персоналу та швидкий доступ до актуальних даних для прийняття рішень. Крім того, модульна архітектура БПЛА дозволяє адаптувати апарати під різні типи складів та специфіку продукції, що значно підвищує універсальність системи. Серед недоліків сучасних рішень є адаптація сучасних алгортимів та моделей машиного навчання до обмежень обладнання. Таокж є потреба у точній калібровці сенсорів та складність інтеграції з існуючими складськими системами. Також точність прогнозування псування продукції залежить від кількості і якості даних, що збираються. Може виникати проблема затримки у обробці великого обсягу інформації.

Література

1. Eknath Pore, Bhumeshwar K. Patle, Sandeep Thorat, Brijesh Patel (2026), Drone-Enabled Practices in Modern Warehouse Management: A Comprehensive Review, *Drones*, 10(3), 189; https://doi.org/10.3390/drones10030189
2. Chommaphat Malang, Ratapol Wudhikarn (2026), Analyzing Key Factors for Warehouse UAV Integration Through Complex Network Modeling, *Logistics*, 10(2), 28; https://doi.org/10.3390/logistics10020028

Моделі та засоби моніторингу параметрів мікроклімату навчальних приміщень на основі IoT-рішень

Олександра Нагорнюк
Київський Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Сучасні навчальні приміщення потребують підтримання оптимальних параметрів мікроклімату, оскільки вони безпосередньо впливають на здоров'я, самопочуття та когнітивні здібності учасників освітнього процесу. Недостатня вентиляція, підвищена концентрація вуглекислого газу або невідповідні температурні умови можуть призводити до зниження концентрації уваги та продуктивності навчання.

Матеріали і методи. У межах дослідження використано підхід побудови IoT-системи на основі сенсорних вузлів, що вимірюють основні параметри мікрокліматуі. Як апаратну основу можуть використовуватися мікроконтролери у поєднанні з відповідними сенсорами. Передача даних здійснюється за допомогою бездротових протоколів зв'язку до центрального сервера чи хмарної платформи. Для зберігання та обробки даних застосовуються бази даних і засоби аналітики.

Результати. У ході дослідження отримано результати, що підтверджують ефективність використання IoT-рішень для моніторингу параметрів мікроклімату в навчальних приміщеннях.

Після впровадження IoT-моніторингу забезпечено стабілізацію основних параметрів мікроклімату. Як показано в Таблиці 1, середні значення температури та відносної вологості наблизилися до нормативних діапазонів, а рівень CO_2 знизився до безпечних значень.

Параметр мікроклімату	**Нормативне значення**	**До впровадження IoT**	**Після впровадження IoT**
Температура повітря, °C	*18-24*	*17-26*	*20-23*
Відносна вологість, %	*40-60*	*30-70*	*45-55*
Концентрація CO_2, ppm	≤ 1000	1200–1800	700–900
Освітленість, лк	≥ 300	200–350	350–450

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика параметрів мікроклімату до та після впровадження IoT-моніторингу

Висновки. На відміну від існуючих IoT-рішень загального призначення, запропонована модель моніторингу мікроклімату адаптована до специфіки навчальних приміщень з урахуванням тривалого перебування людей та змінної наповнюваності аудиторій, що дозволяє більш точно оцінювати якість повітря та умови навчального середовища.

Розробка вебзастосунку для онлайн-бронювання б'юті-послуг на основі React та Firebase

Іван Новосельський
Львівський торговельно-економічний університет

Вступ. У сучасній цифровій економіці особливо гостро постає потреба в автоматизації сервісів у сфері малого бізнесу. Розробка спеціалізованих вебзастосунків для онлайн-бронювання б'юті-послуг набуває стратегічного значення, оскільки забезпечує не лише технічну оптимізацію процесів, але й формування сучасного цифрового досвіду для клієнта [1].

Матеріали і методи. Архітектурний підхід, заснований на компонентній моделі React відкриває нові можливості для розробників: швидке прототипування, реальний час синхронізації даних, вбудована автентифікація та глобальний хостинг. Використання документоорієнтованої бази даних Cloud Firestore дозволяє структурувати інформацію про послуги, замовлення та користувачів [2].

Також інтегровано сторонні бібліотеки: SweetAlert2 для зворотного зв'язку, Tailwind CSS для адаптивної верстки та розгортання на платформі Netlify.

Результати. Особливу роль у таких системах відіграє користувацький досвід (UX). Мінімалістичний дизайн, інтуїтивно зрозуміла навігація, візуальна гармонія кольорів та адаптивність до різних екранів стають не просто естетичними перевагами, а функціональними вимогами. У сфері краси, де емоційний відгук клієнта має вирішальне значення, рожево-біла колірна палітра, закруглені форми, якісні зображення та чітка типографіка формує довіру та сприяють прийняттю рішення про бронювання. Важливим елементом є відсутність обов'язкової реєстрації - клієнт може швидко обрати послуги, додати їх до кошика та оформити замовлення за кілька хвилин, що суттєво підвищує конверсію [3].

З боку адміністратора система забезпечує повний контроль над бізнес-процесами. Через захищений вхід на основі Firebase Authentication власник салону отримує доступ до панелі управління, де може переглядати всі замовлення, змінювати їхній статус, видаляти записи, оновлювати каталог послуг та аналізувати статистику. Візуалізація даних за допомогою бібліотеки Recharts перетворює сухі цифри на наочні графіки, - що дозволяє оперативно оцінювати попит, планувати завантаженість майстрів і приймати рішення. Такий підхід демонструє, що навіть невеликий бізнес може мати доступ до аналітичних інструментів [4].

Висновки. Таким чином, розробка вебзастосунку для онлайн-бронювання б'юті-послуг комплексним рішенням, що поєднує сучасні технології та глибоке розуміння бізнес-процесів. Подібні рішення демонструють, що технології можуть бути не лише потужними, але й елегантними, простими та зручними.

Література.

1. UkrSalon. Сайт салону краси: яким він повинен бути. URL: https://ukrsalon.com.ua/blogs/cat_dlya-rukovoditeley-salonov/sayt-salona-krasoty-kakim-on-dolzhen-byt.
2. Firebase Documentation. Hosting Use Cases. URL: https://firebase.google.com/docs/hosting/use-cases.
3. BeautyPro Software. Ідеальний сайт для салону краси. URL: https://beautyprosoftware.com/blog/idealniy-sait-dlya-salona/.
4. Recharts – Charting Library for React. URL: https://recharts.github.io/.

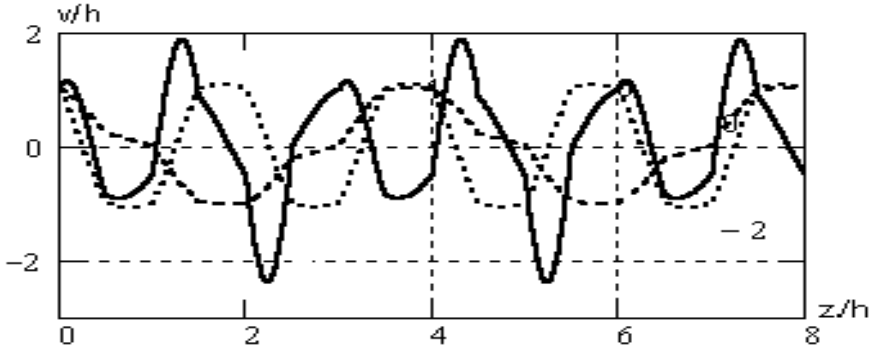
Математичне моделювання процесу коливання пружних хвиль зсуву в періодично неоднорідних структурах

Володимир Левченко[1], Сергій Корж[2]
[1]*Національний університет біоресурсів і природокористування, Київ*
[2]*Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка*

Вступ. У класичних лінійних задачах теорії коливань дискретних і континуальних систем з дискретними (скінченими або зліченими) частотними спектрами алгоритм визначення власних частот і форм вимагає першочергового обчислення власних частот з наступним визначенням власних форм. В роботах, які присвячені цій темі, спочатку знаходилися зони пропускання об'ємних хвиль, а потім для довільних частот з цих зон по загальному розв'язку задачі визначалися відповідні форми хвильових рухів.

Матеріали і методи. Дослідження спирається на наукові публікації та розроблені методи з дослідження динамічних процесів в регулярно-шаруватих структурах. Було використано останні методи розвинені в попередніх роботах. .

Результати. В цій роботі пропонується новий метод визначення форм коливань для систем з кусково-неперервним спектром. Метод полягає в тому, що спочатку апріорі задається кратна періоду структури періодичність обвідної кривої загального розв'язку, . потім знаходяться частоти коливань із зони пропускань (власні частоти) і для них будують форми хвильових рухів в структурі. Розглянемо неоднорідне середовище пружності і густина якої є періодичними функціями $c_{ij}(z+z_{00})=c_{ij}(z),\ \rho(z+z_{00})=\rho(z)$ з періодом $z_{00}>0$ Задача про поширення хвиль зводиться до системи рівнянь. Провівши математичні викладки ми отримаємо рівняння для форм коливання. Теоретичні положення проілюстровані на рисунку для двокомпонентного регулярно-шаруватого середовища з рівною товщиною шарів.. В якості матеріалів шарів вибирались ZnO і GaYIG. На рисунку наведено форми коливань різних мод для $\bar{\omega}=3{,}274$ (суцільна крива,), для $\bar{\omega}=1{,}1$ (пунктирна крива,) і (крива нанесена крапками $\bar{\omega}=1{,}84$). Безрозмірна частота $\omega^*=\omega h\sqrt{\rho_0\lambda_0^{-1}}$.



Висновки. Проаналізувавши графічну і числову інформацію стає очевидним, що форми коливань залежать від геометричних і фізичних властивостей структури, при зростання моди коливання стають більш складними.

Сучасні підходи до автоматизації пошуку дефектів у залізобетонних конструкціях

Олексій Літошко, Олена Андріюк
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Проведено дослідження з метою визначення найбільш ефективних методів автоматизованого виявлення дефектів у залізобетонних конструкціях. Своєчасна діагностика є критично важливою для запобігання руйнуванню мостів, дамб та житлових будівель, що дозволяє суттєво знизити витрати на їх подальше відновлення.

Матеріали та методи. Об'єктом дослідження стали цифрові зображення бетонних поверхонь із різними типами дефектів. Для ідентифікації у роботі проаналізовано класичний алгоритм обробки зображень за допомогою детекторів країв та сучасні нейромережеві моделі архітектури YOLOv8 та ResNet. Оцінку точності детекції проведено за показником F1-score, що поєднує повноту та точність виявлення об'єктів.

Результати та обговорення. Одним із пріоритетних шляхів забезпечення безпеки інфраструктури є впровадження систем безперервного моніторингу через цифрову фотофіксацію даних про стан споруди. Також з її допомогою є можливість обстеження важкодоступних місць за допомогою дронів без зупинки експлуатації об'єкта. Метою аналізу було порівняння швидкості та точності роботи різних алгоритмів при виявленні тріщин на запилених та погано освітлених поверхнях.

При використанні детектору Кенні виявлено, що на якість результату суттєво впливає «шум» на фото — плями бруду, нерівності опалубки чи тіні. За таких умов кількість хибних спрацювань зростає на 40%. На другому етапі дослідження було протестовано нейромережі. Встановлено, що для отримання надійного результату достатньо роздільної здатності камери 12 Мп при відстані зйомки до 2 метрів.

На швидкість роботи системи впливає складність архітектури моделі. Використання «легких» версій YOLO дозволяє обробляти до 30 кадрів за секунду, що ідеально підходить для відеомоніторингу в реальному часі. Встановлено оптимальні параметри для навчання моделі: кількість епох — 100, розмір батчу — 16. Це дозволило досягти точності розпізнавання мікротріщин шириною від 0,2 мм на рівні 92%. Подальше збільшення глибини мережі виявилося недоцільним, оскільки приріст точності становив менше 1%, а навантаження зростало вдвічі. Процес обробки одного прогону мостової опори займає близько 40 секунд, що у десятки разів швидше за ручний огляд інженером.

Висновок. Досліджені алгоритми можна використовувати як допоміжний інструмент для проведення технічного огляду конструкцій та полегшити обстеження в складнодоступних місцях, забезпечуючи високу точність виявлення дефектів на ранніх стадіях експлуатації споруд.

Література

1. Ali, R., Chuah, J. H., Samad, R., et al. (2022). Deep Learning for Concrete Crack Detection: A Review. IEEE Access, Vol. 10.
2. Mundt, C., Steininger, D., & Schiele, B. (2023). Real-time structural health monitoring using YOLOv8. Journal of Infrastructure Preservation and Resilience.

Програмна система прокату фільмів

Лобода Ростислав
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Вступ. На сьогоднішній день значного поширення набули онлайн-сервіси перегляду відеоконтенту. Користувачі все частіше обирають можливість оренди фільмів чи серіалів замість відвідування кінотеатрів.

Матеріали та методи. Для реалізації сервісу використовуються сучасні веб-технології (HTML, CSS, JavaScript), серверні платформи (наприклад, C# або GoLang), а також потокові технології для передачі відео. Дані про користувачів, фільми та транзакції зберігаються у базі даних SQL. Особлива увага приділяється захисту контенту та платіжних операцій.

Результати та обговорення. Розроблена система повинна мати широкий набір функціональних можливостей, спрямованих на забезпечення зручного, швидкого та інтуїтивно зрозумілого доступу користувачів до мультимедійного контенту. Основною складовою системи є великий каталог фільмів і серіалів, який повинен містити детальну інформацію про кожен об'єкт. Це дозволяє користувачам отримати повне уявлення про контент перед його орендою.

Важливою функцією системи є реалізація ефективного пошуку та фільтрації. Користувач повинен мати можливість швидко знаходити потрібний фільм або серіал за назвою, жанром, актором, режисером, роком випуску тощо. Система повинна підтримувати механізм оренди контенту з обмеженим терміном доступу (48–72 години). Після здійснення оплати користувач отримує миттєвий доступ до обраного фільму або серіалу без затримок. Особливу увагу слід приділити персональному кабінету користувача. У ньому має зберігатися інформація про всі орендовані фільми, історія переглядів, список обраного контенту, а також персональні налаштування. Додаткові функціональні можливості можуть включати підтримку багатомовного інтерфейсу. Важливим елементом є система оцінювання та відгуків, яка дозволяє користувачам ділитися власною думкою про переглянутий контент та формувати рейтинг популярності фільмів.

Окрім цього, доцільно реалізувати інтеграцію з платіжними системами для забезпечення безпечної та швидкої оплати, адаптивний дизайн для коректної роботи на різних пристроях, а також систему адміністрування для керування контентом, користувачами та аналітикою використання сервісу.

Застосування такого підходу дозволяє забезпечити зручний доступ до мультимедійного контенту, підвищити рівень взаємодії з користувачем, персоналізувати досвід використання сервісу та створити конкурентоспроможний цифровий продукт, який відповідає сучасним вимогам ринку онлайн-стримінгу.

Висновок. Сервіси з прокату фільмів – дуже перспективний напрямок для розвитку цифрових платформ. Вони поєднують в собі простоту використання та швидкість оренди та перегляду бажаних фільмів.

Література:

1. Netflix Inc. (2023), How Netflix Works: Streaming Technology and Personalization. Доступ:https://help.netflix.com/en/node/100639
2. Ava Jade (2025), The Evolution and Impact of Streaming Services, Pressmaverick. Доступ:https://pressmaverick.com/the-evolution-and-impact-of-streaming-services/

Інтеграція штучного інтелекту у дослідження та оптимізацію поліуретанових матеріалів у транспортних технологіях

Ігор Мартинюк
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. Сучасні транспортні технології активно використовують поліуретанові (PU) матеріали у виробництві автомобільних компонентів, шин, клеїв та покриттів. Водночас традиційні методи розроблення нових матеріалів є тривалими та ресурсомісткими. Використання штучного інтелекту (AI) та машинного навчання відкриває можливості для прискорення досліджень, прогнозування властивостей та оптимізації складу поліуретанів [1].
Мета дослідження - проаналізувати застосування методів штучного інтелекту для прогнозування властивостей, оптимізації складу та підвищення ефективності використання поліуретанових матеріалів у транспортній галузі.

Матеріали і методи. У дослідженні розглянуто сучасні підходи машинного навчання, зокрема мультимодальні моделі, що поєднують структурні характеристики (3D-зважені матричні кодування, молекулярні дескриптори) та параметри синтезу. Для прогнозування механічних властивостей поліуретанів використовувалися методи глибокого навчання та ансамблеві алгоритми. Також застосовано методи генеративного дизайну для створення нових матеріалів і комп'ютерного зору для контролю якості продукції.

Результати. Встановлено, що моделі машинного навчання здатні точно прогнозувати механічні властивості поліуретанів, зокрема модуль Юнга, міцність на розтяг та відносне подовження при розриві, із коефіцієнтом детермінації R^2 понад 0,86. Використання 3D-зважених матричних кодувань підвищує точність моделей приблизно на 23% порівняно зі стандартними дескрипторами [2]. AI також дозволяє здійснювати високопродуктивний скринінг понад 150 мільйонів варіантів складу та технологічних параметрів поліуретанів для вибору оптимальних матеріалів. У сфері виробництва застосування комп'ютерного зору забезпечує швидке виявлення дефектів, а моделювання процесів - прогнозування поведінки спінювання матеріалу. Для транспортних застосувань, зокрема у виробництві шин, AI використовується для прогнозування зношування та оптимізації експлуатаційних характеристик з урахуванням дорожніх і погодних умов.

Висновки. Застосування штучного інтелекту значно підвищує ефективність дослідження та розроблення поліуретанових матеріалів для транспортних технологій. Методи машинного навчання дозволяють скоротити кількість експериментів, прискорити процес створення нових матеріалів і підвищити їх експлуатаційні характеристики. Отримані результати підтверджують перспективність інтеграції AI у матеріалознавство та автомобільну промисловість.

Література:

1. Multimodal Machine Learning with 3D-Weighted-Matrix Encoding for High-Throughput Design of High-Performance Polyurethanes. Macromol Rapid Commun. 2025.
2. Accelerating Materials Discovery: Artificial Intelligence for Sustainable, High-Performance Polymers. National Renewable Energy Laboratory, 2022.

Використання методів машинного навчання для дослідження міжпроникних полімерних сіток у транспортній інженерії

Ігор Мартинюк
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. Міжпроникні полімерні сітки (IPN) є перспективними матеріалами для транспортних технологій завдяки поєднанню високої міцності, еластичності та стійкості до втоми. Вони знаходять застосування у виробництві автомобільних компонентів, шин та матеріалів для гасіння вібрацій. Проте традиційні підходи до розроблення таких матеріалів потребують значних експериментальних витрат. У зв'язку з цим застосування методів штучного інтелекту (AI) дозволяє значно прискорити процес дослідження та оптимізації властивостей IPN [1]. Мета дослідження — проаналізувати використання методів машинного навчання для прогнозування властивостей та проєктування міжпроникних полімерних сіток для транспортних застосувань.

Матеріали і методи. У дослідженні розглянуто сучасні підходи машинного навчання, зокрема нейронні мережі, метод опорних векторів (SVR), випадкові ліси (Random Forest) та генетичні алгоритми. Для генерації нових структур IPN використовувалися генеративні моделі, зокрема GAN. Моделі навчалися на даних про молекулярну структуру полімерів і їхні фізико-механічні властивості. Також застосовувалися методи високопродуктивного віртуального скринінгу та оцінювання невизначеності прогнозів.

Результати. Встановлено, що моделі машинного навчання здатні ефективно прогнозувати властивості IPN, такі як міцність на розтяг та температура склування, з коефіцієнтом детермінації R^2 у межах 0,66–0,94 [2]. Значення середньоквадратичної похибки (RMSE) для складних властивостей становлять близько 0,37, що забезпечує точність прогнозування до 86% для оцінки втомної довговічності матеріалів. Використання AI дозволяє здійснювати високопродуктивний скринінг до 10^6 варіантів полімерних структур, що суттєво прискорює пошук оптимальних композицій. Генеративні моделі забезпечують створення мікроструктур IPN із заданими механічними характеристиками, зокрема стійкістю до деформацій до 100%. Застосування методів оцінювання невизначеності підвищує надійність прогнозів і дозволяє зменшити кількість невдалих експериментів приблизно на 50%.

Висновки. Використання штучного інтелекту є ефективним інструментом для дослідження та проєктування міжпроникних полімерних сіток. Методи машинного навчання дозволяють значно скоротити час розроблення матеріалів (на 70–90%), підвищити точність прогнозування їх властивостей і оптимізувати їх для застосування у транспортній галузі. Отримані результати підтверджують перспективність інтеграції AI у матеріалознавство та створення високоефективних полімерних матеріалів.

Література:

1. Machine Learning Materials Properties with Accurate Predictions, Uncertainty Estimates, Domain Guidance, and Persistent Online Accessibility. arXiv:2406.15650, 2024.
2. Accelerating Materials Discovery: Artificial Intelligence for Sustainable, High-Performance Polymers. National Renewable Energy Laboratory, 2022.

Застосування штучного інтелекту для дослідження та оптимізації властивостей TiO_2.

Ігор Мартинюк
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. Розвиток штучного інтелекту (AI) відкриває нові можливості для дослідження матеріалів, зокрема діоксиду титану (TiO_2), який широко використовується у фотокаталітичних процесах очищення повітря. Традиційні експериментальні методи дослідження є трудомісткими та потребують значних ресурсів, що зумовлює актуальність застосування методів машинного навчання для прогнозування властивостей матеріалів та оптимізації їх синтезу [1]. Мета дослідження - проаналізувати сучасні підходи використання штучного інтелекту для прогнозування властивостей, оптимізації синтезу та оцінювання ефективності TiO_2.

Матеріали і методи. У дослідженні розглянуто сучасні алгоритми машинного навчання, зокрема XGBoost, Artificial Neural Networks (ANN), CatBoost, Gradient Boosting, Random Forest, Support Vector Regression (SVR) та K-Nearest Neighbors (KNN). Для прогнозування фотокаталітичних властивостей використовувалися молекулярні дескриптори та експериментальні дані з наукових джерел. Для інтерпретації результатів застосовано метод SHAP-аналізу, а для покращення якості моделей - методи аугментації даних, зокрема генеративні змагальні мережі (GAN). Також використовувалися підходи на основі теорії функціоналу густини (DFT) та байєсівської оптимізації.

Результати. Встановлено, що моделі машинного навчання здатні з високою точністю прогнозувати швидкість фотокаталітичної деградації забруднювачів повітря за допомогою TiO_2, досягаючи значень коефіцієнта детермінації R^2 до 0,97 [2]. Найбільш ефективними алгоритмами є XGBoost та ансамблеві методи [3]. SHAP-аналіз показав, що ключовими факторами є інтенсивність ультрафіолетового випромінювання, вологість та концентрація каталізатора. Моделі ANN також продемонстрували високу ефективність у прогнозуванні морфологічних характеристик наночастинок, таких як розмір, полідисперсність і форма. Крім того, використання AI у поєднанні з DFT дозволяє точно оцінювати енергії формування домішок у структурі TiO_2, а байєсівська оптимізація сприяє розширенню технологічних можливостей синтезу матеріалів.

Висновки. Використання штучного інтелекту є ефективним інструментом для дослідження та оптимізації властивостей TiO_2. Методи машинного навчання дозволяють значно скоротити обсяг експериментальних досліджень, підвищити точність прогнозування та прискорити розроблення нових фотокаталітичних матеріалів. Отримані результати підтверджують перспективність інтеграції AI у матеріалознавство та екологічні технології.

Література:

1. A novel interpretable machine learning model approach for the prediction of TiO2 photocatalytic degradation of air contaminants. Scientific Reports. 2024;14:13070.
2. Evaluation of machine learning models for predicting TiO2 photocatalytic degradation of air contaminants. Scientific Reports. 2024;14:13688.
3. Machine learning approach for elucidating and predicting the role of synthesis parameters on the shape and size of TiO2 nanoparticles. Scientific Reports. 2020;10:18910.

Вимоги до автоматизованої інформаційної системи управління методичною роботою кафедри

Владислав Міщенко, Наталія Зубрецька
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. В умовах реформування системи вищої освіти України, впровадження європейських стандартів забезпечення якості та активної цифровізації освітнього середовища зростає значення методичної роботи як важливого чинника підтримки, організації та вдосконалення освітнього процесу. За таких умов підвищуються вимоги до якості організації освітньої діяльності та ефективності управління нею у закладах вищої освіти (ЗВО) на основі автоматизації управлінських процесів [1].

Методи і матеріали. Методологічною основою виступає системний аналіз предметної області, її суб'єктів та нормативно-правового забезпечення задля виявлення та систематизації ключових процесів управління методичною роботою. Метод аналізу ієрархій, як структурований метод організації та аналізу складних рішень використано для розробки ієрархічних структурних моделей суб'єктів і нормативно-правової бази методичної роботи вітчизняного ЗВО. Джерелами інформації для дослідження є досвід методичної діяльності вітчизняних ЗВО, що представлений на їх електронних ресурсах та у відкритих джерелах науково-технічної інформації, нормативно-правові акти, що регулюють освітній процес.

Результати та обговорення. Встановлено, що ефективність методичної діяльності значною мірою залежить від узгодженості її нормативно-правового, організаційного та інформаційного забезпечення на рівнях ЗВО, факультету та кафедри. З урахуванням сучасних тенденцій освітньої політики та інформатизації управлінських процесів на основі аналізу інфраструктури навчально-методичної роботи виконано структуризацію, систематизацію та узагальнення її основних аспектів у вигляді концептуальної моделі системи управління методичною роботою ЗВО, яка демонструє основні характеристики, об'єкти і суб'єкти процесів управління, що здійснюють координацію, керівництво та реалізацію керівних дій.

У результаті структурно-функціонального аналізу системи управління методичною роботою Національного транспортного університету розроблено структурні моделі її суб'єктів із зазначенням їх функцій, взаємозв'язків та ієрархічної підпорядкованості та модель нормативно-правового забезпечення, що узагальнює документи національного, галузевого, локального рівнів, а також всі види робочої документації, яка використовується для організації та контролю навчально-методичної роботи.

Висновки. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для створення та впровадження інформаційної системи, призначеної для підтримки методичної діяльності кафедри, і в цілому ЗВО. Запропоновані напрацювання можуть слугувати основою для визначення вимог до такої системи, що дозволить обґрунтувати її функціональну архітектуру, структуру зберігання даних і принципи організації взаємодії користувачів.

Література

1. Міщенко В.В., Зубрецька Н.А. Складові інформаційної системи для управління методичною роботою кафедри закладу вищої освіти, XII Міжнародна науково-технічна Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 27.11.2025 р. К: НУХТ, 2025, с. 352.

Автоматизація обліку персоналу закладу вищої освіти на основі веб-технологій

Москаленко Олексій, Грама Михайло
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Актуальність дослідження зумовлена відсутністю централізованого реєстру кадрових даних у закладах вищої освіти, що призводить до дублювання інформації та ускладнює оперативний пошук. У зв'язку з цим, актуальним є вирішення проблеми децентралізованого зберігання даних шляхом проєктування єдиної реляційної інформаційно-довідкової системи для співробітників та здобувачів освіти.

Матеріали та методи. Предметом дослідження виступають бізнес-процеси кадрового обліку та методи їхньої оптимізації. У ході роботи застосовано методологію функціонального моделювання *SADT* для реінжинірингу існуючих бізнес-процесів («*AS-IS*» -> «*TO-BE*»). Логічну структуру бази даних спроєктовано методами нормалізації відносин та семантичного моделювання. Програмну реалізацію серверної частини виконано на мові *Python* з використанням фреймворку *Django*, технології об'єктно-реляційного відображення (*ORM*) та СУБД *MySQL*.

Результати та обговорення. У процесі дослідження здійснено ґрунтовний аналіз структури даних, які історично накопичувалися в неузгоджених електронних таблицях різних підрозділів. Виявлено критичні недоліки існуючої системи обліку: відсутність жорсткої типізації, неявна ієрархія підрозділів та надмірна надлишковість даних. На основі цього аналізу було спроєктовано оптимізовану реляційну модель даних, яка усуває структурні аномалії завдяки розподілу на базові пов'язані сутності: «Тип підрозділу», «Підрозділ», «Посада», «Співробітник» та «Здобувач освіти». Ключовим етапом дослідження стала розробка методології міграції даних, що включала обов'язкову процедуру очищення (*Data Cleaning*) та парсингу вихідних масивів для приведення їх до узгодженого вигляду.

Практичним результатом впровадження стала трирівнева клієнт-серверна архітектура, яка повністю замінила застарілий облік у локальних файлах. Розроблена система через *ORM Django* генерує динамічні *SQL*-запити, що забезпечує миттєву багатофакторну фільтрацію та видачу структурованої інформаційної картки співробітника. Ефективність впровадження підтверджується не лише прискоренням пошуку даних, але й забезпеченням каскадної цілісності даних та розмежуванням прав доступу через вбудовану адміністративну панель *Django*. Використання відкритого стека технологій уможливило впровадження рішення без фінансових витрат на ліцензування, що є критично важливим для бюджетних установ.

Висновки. У результаті дослідження впровадження інформаційно-довідкової системи, яка переводить адміністративні процеси університету на якісно новий цифровий рівень. Запропонована реляційна модель та підхід до міграції даних забезпечують високу швидкодію, усувають дублювання та гарантують цілісність кадрової інформації.

Література

1. ДСТУ ISO/IEC 12207:2016. Інженерія систем і програмного забезпечення. Процеси життєвого циклу програмного забезпечення (ISO/IEC 12207:2008, IDT). – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.

Оцінювання допустимих відхилів проміжку часу до досягнення заданих критичних температур сталевих конструкцій будівель харчової промисловості

Михайло Новак, Олена Харкянен
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Актуальним завданням є визначення ступеня відповідності результатів, які отримують за допомогою модифікованих методів, стосовно теплових показників вогнезахисних покривів сталевих конструкцій (балок і колон) до їх дійсних значень.

Матеріали і методи. Застосовано метод дослідження, складовими якого є обчислювальна процедура чисельного моделювання теплового стану сталевих конструкцій, оснащених вогнезахисним покривом із заданими теплофізичними властивостями, за умов впливу стандартного температурного режиму згідно з EN 1363-1:2020, процедури узагальнення, апроксимації та систематизації отриманих розрахункових даних із використанням лінійного регресійного аналізу.

Результати та обговорення. Розроблено процедуру визначення допустимих відхилів виміряних (фактичних) значень від заданих величин проміжку часу до досягнення встановлених критичних температур сталевих конструкцій під час здійснення валідаційних експериментів у процесі автоматизованого керування тепловим станом таких конструкцій. Ця процедура базується на врахуванні похибок вимірювальних приладів, відхилів фактичного температурного режиму в печі від номінального і фактичної початкової температури сталевих конструкцій від номінальної та невизначеності, пов’язаної з неточностями застосованого модифікованого методу. Для визначення аналітичних залежностей, прийнятних для обчислення складових цих допустимих відхилів, було виявлено взаємозв’язок між значеннями цих складових, показниками вказаних відхилів, проміжком часу до досягнення критичної температури та її величиною. За номінальних значень температури в печі, які відповідно до EN 1363-1:2020 залежать від тривалості теплового впливу та змінюються від 20 °C до 1200 °C, та номінальної початкової температури сталевої конструкції, яка становить 20 °C, шляхом розв’язання методом скінченних різниць прямої задачі теплопровідності визначали товщину вогнезахисного покриву, за якої для певного заданого номінального проміжку часу розрахункова температура на металевій поверхні сталевої конструкції (під шаром покриву) дорівнює заданій критичній температурі. Ці розрахунки виконували за різних значень коефіцієнта теплопровідності та питомої теплоємності вогнезахисного покриву, а також коефіцієнта поперечного перерізу сталевої конструкції. Із використанням отриманих даних щодо товщини вогнезахисного покриву розв’язанням прямої задачі теплопровідності визначали значення проміжку часу до досягнення заданої критичної температури для різних варіантів варіювання температури в печі та початковою температури сталевої конструкції. Із застосуванням програми для роботи з електронними таблицями Microsoft Excel і використанням одержаних даних стосовно різниці між фактичними і заданими значеннями проміжку часу, розв’язували рівняння лінійної регресії.

Висновки. Виявлено, що через відхил фактичного температурного режиму в печі від номінального різниця між виміряним і заданим проміжками часу до досягнення заданих критичних температур може становити від –6,2% до 5,6%, а через відмінність фактичної початкової температури сталевої конструкції від її номінального значення – від –2,8% до 1,4%. Встановлено вплив заданого проміжку часу і величини критичної температури на допустимі відхили.

Фундаментальні механізми та прикладні аспекти сучасних алгоритмів кодування та декодування інформації

Володимир Овчарук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Фундаментальною метою кодування та декодування даних є оптимізація інформаційних потоків шляхом мінімізації їхнього обсягу для забезпечення високої швидкості трансляції за умови збереження цілісності повідомлення. Процес кодування передбачає трансформацію вхідних даних у компактну форму (компресію), тоді як декодування забезпечує релевантне відновлення первинної структури інформації на стороні реципієнта.

Методи досліджень. Ефективність зазначених механізмів чітко простежується у сфері цифрового телерадіомовлення та мережевих трансляцій. Зокрема, стандарт H.264 позиціонується як високоефективний метод відеокодування, що дозволяє досягти оптимального балансу між візуальною якістю та обсягом даних. Це критично важливо для мережевого обміну, де стиснення виступає інструментом підвищення пропускної здатності каналів зв'язку.

Результати і обговорення. Процес кодування полягає у конвертації інформації в адаптивні форми, придатні для специфічних умов зберігання або передачі. Вибір конкретного методу детермінується технічними вимогами завдання: Системно-числове представлення: включає двійкову (фундаментальну для обчислювальної техніки), десяткову (використовувану у фінансовій архітектурі) та шістнадцяткову системи числення. Алгоритмічний базис: сукупність інструкцій для формування кодованих послідовностей. Одним із найбільш репрезентативних є алгоритм Хаффмана, який реалізує принцип статистичного стиснення з мінімальною втратою ентропії.

Специфіка та типологія декодування. Декодування визначається як критичний етап обробки, спрямований на реституцію закодованих сегментів у вихідний формат для подальшої верифікації та експлуатації. Залежно від типу контенту виокремлюють: Текстове декодування: використання стандартів UTF-8 або ASCII, що включають механізми виявлення символьних аберацій. Візуальна реконструкція: застосування алгоритмів JPEG, GIF, PNG для відновлення графічних структур.

Систематизація методів перетворення даних. У сучасній теорії інформації виділяють три основні парадигми кодування:

1. Абсолютне (детерміноване): присвоєння унікальних ідентифікаторів символам незалежно від контексту (напр., ASCII).
2. Умовне (контекстно-залежне): формування складних кодів на основі ймовірнісних характеристик (арифметичне кодування, методи Хаффмана).
3. Блокове: сегментація інформації на сталі блоки для автономної обробки. Особливе місце посідають коди Хеммінга та Ріда-Соломона, що забезпечують завадостійкість через введення контрольних бітів для корекції помилок.

Висновок. У середовищі сучасних IT кодування та декодування виступають базовими інструментами забезпечення інформаційної безпеки та мережевої ефективності. Еволюція цих методів безпосередньо корелює з підвищенням надійності та захищеності складних інформаційних систем, роблячи їх стійкими до деструктивних зовнішніх впливів та технічних обмежень.

Оптимізація процесів управління та стратегічного планування контейнерних інтермодальних перевезень на засадах мережевих транспортних моделей

Володимир Овчарук
Національний університет харчових технологій

Вступ. Задачі управління контейнерним парком на морській лінії можна сформулювати як задачі транспортного типу, точніше, як сітьові транспортні задачі, що дає можливість використати для їх розв'язку сучасні в цій галузі спеціальні методи лінійного програмування. На відміну від стандартних методів лінійного програмування, ці методи більш ефективні при розв'язанні задач оперативного управління великої розмірності в реальному масштабі часу.

Матеріали та методи. В роботі [1] розроблена математична модель та проведено аналіз задачі оптимального планування перевезень контейнерів на прикладі чотирьох портів.

Результати та обговорення. Аналіз цієї моделі показав, що для розв'язку задач оперативного управління великої розмірності в реальному масштабі часу ефективно використовувати сітьові транспортні моделі, які враховували б особливості цих задач. А саме, що оптимальна організація перевезень порожніх контейнерів дозволяє не тільки скоротити загальний парк контейнерів на морській замкненій лінії, але також веде до успішного виконання планів перевезень в кінцевих і проміжних портах лінії, що були складені заздалегідь.

Розглянемо загальний випадок, коли на лінії курсують декілька суден-контейнеровозів.

В розглянутому нами загальному випадку руху декілька суден-контейнеровозів, крім перерахованих затрат, необхідно враховувати затрати на збереження контейнерів в порту. Але, при урахуванні цих затрат, може стати, що вигідніше перевозити порожні контейнери, ніж зберігати їх в порту.

Принцип побудови представляючої мережі в розглянутому загальному випадку і зведення задачі управління контейнерним парком на морській лінії до сітьової транспортної задачі лінійного програмування приведено в роботі [2] на випадок, коли k=3, i=3.

Ці мережі необхідно перетворити в одну мережу, побудова якої здійснюється на підставі урахування черги або графіка прибуття кожного судна-контейнеровоза до кожного з портів l (l=1,2, … ,N).

Висновки. Використання такого підходу до рішення задач оперативного управління контейнерними перевезеннями у випадку великої розмірності задачі в реальному масштабі часу вимагає розробки складного комплексу програм, що дозволяє здійснювати генерацію мережі на комп'ютері враховуючи вхідні дані задачі.

Література

1. Овчарук В.О., Ющук І.В. (2025) Комп'ютерне моделювання та оптимізація контейнерних перевезень на морських маршрутах на основі мережевої транспортної задачі. Водний транспорт. К.: КДАВТ, 2025. № 3 (44). С. 285 – 291.

2. Аналіз розвитку контейнерних перевезень залізничним транспортом в Україні. О.Г. Стрелко, Ю.А. Бердниченко, В.С. Вознюк, І.Л. Ковальский (2020) Наукові праці ВНТУ. № 2. С. 1 – 6.

Методологія прогнозування на основі мультиплікативної декомпозиції часових рядів

Володимир Овчарук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. В прогнозуванні, як відомо, найпоширенішими методами є екстраполяційні та адаптивні методи. Серед чинників**,** що визначають регулярні коливання ряду, розрізняють так: с*езонні*, що відповідають коливанням, які мають періодичний або близький до нього характер; ц*иклічні* (кон'юнктурні) коливання схожі на сезонні, але виявляються на триваліших інтервалах часу. Циклічні коливання пояснюються дією циклів, які охоплюють значно більші періоди часу. Такі цикли можуть бути демографічної, економічної природи та інші.

Матеріали і методи. В роботі розраховуються прогнозні значення вихідними даними є зібрані дані (обсяги реалізації) за певний період часу, припустимо, що дані збиралися щотижня. У деяких часових рядах значення сезонної компоненти не є константою, а являє собою певну частку трендового значення. До таких даних застосовують модель з мультиплікативною компонентою: A = T*S*E.

Результати та обговорення. Для того аби створити лінію тренду потрібно порахувати лінійну регресію з наших даних. Множиною аргументів вважатимемо перший стовпчик таблиці, а множиною значень – десезоналізовані значення продажів

Обсяг реалізації (A) за середнім темпом	Ковзна середня	Центрована ковзна середня (T)
60,00		
63,00	61,72	
63,89	62,72	62,22
60,00	63,20	62,96
64,00	63,23	63,21
64,90	64,98	64,10
64,00	64,48	64,73
67,00	64,50	64,49
62,00	64,75	64,63
65,00	65,00	64,88
65,00	67,25	66,13
68,00	68,75	68,00
71,00	69,75	69,25
71,00	71,25	70,50
69,00		
74,00		

Центрована ковзна середня (T)	Коефіцієнт сезонності (A / T = S * E)	Десезоналізація продажів (A / S = T * E)
		46,15384615
		91,30434783
62,22	1,0267633	80,86963621
62,96	0,952995261	49,18032787
63,21	1,012479608	49,23076923
64,10	1,012493225	94,05955387
64,73	0,988794593	81,01265823
64,49	1,038958839	54,91803279
64,63	0,959381044	47,69230769
64,88	1,001926782	94,20289855
66,13	0,982986767	82,27848101
68,00	1	55,73770492
69,25	1,025270758	54,61538462
70,50	1,007092199	102,8985507
		87,34177215
		60,6557377

Наступним кроком розраховуються значення тренду. Рівняння лінійної регресії матиме вигляд $y = bx + a$.

$$b = \frac{\sum xy - \sum x \sum y}{\sum x^2 - (\sum x)^2}, \sum x = \sum(x - x'), \sum y = \sum(y - y'), x' = avg(X), y' = avg(Y),$$

В такому випадку матимемо, що sum(x) ≈ 0 та sum(y) ≈ 0, тоді коефіцієнт b можна знайти наступним чином: $b = \frac{\sum xy}{\sum x^2}$, $a = y' - bx'$.

Висновки. Отримане наступне рівняння лінійної регресії (тренду): $T = 0{,}7x + 64{,}8$. За цим рівнянням розраховується аналітичне значення тренду. Маючи рівняння і підставляючи відповідні періоди розраховуємо прогнозні значення.

Еволюція ООП на прикладі порівняльного аналізу реалізації об'єктно-орієнтованого підходу в Java, C++ та Python

Максим Пархомчук, Олена Андріюк
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю аналізу трансформації фундаментальних принципів об'єктно-орієнтованого програмування, далі ООП. Метою роботи є порівняльний аналіз еволюції механізмів розв'язання конфліктів при множинному успадкуванні.

Методи досліджень. Об'єктом дослідження є стандарти мов C++ (ISO/IEC 14882), Java 21 та Python 3.12. Використано методи логічного моделювання ієрархій класів та порівняльний аналіз алгоритмів лінеаризації методів (MRO).

Результати і обговорення. Дослідження показало, що еволюція ООП йшла шляхом поступової автоматизації розв'язання архітектурних конфліктів.

Класичний підхід, реалізований у C++, дозволяє одному класу мати кілька безпосередніх батьківських класів. Це породжує проблему «ромба». Проблема виникає, коли два класи успадковуються від одного базового класу, а четвертий клас успадковується від перших двох попередніх. Така проблема приводила до неоднозначності і до недоцільного використання пам'яті. Проблема дублювання базового класу вирішується механізмом virtual inheritance. Це дає максимальний контроль, але ускладнює структуру об'єкта в пам'яті та вимагає від розробника ручного керування ініціалізацією.

У Java відбувся етап стабілізації і повна відмова від множинного успадкування класів, перехід до одиничного успадкування на користь множинного успадкування інтерфейсів. Структура об'єкта в пам'яті стає лінійною та передбачуваною. Це унеможливило виникнення «ромба» на рівні полів класу і забезпечило високу безпеку та однозначність коду. Компілятору не потрібно використовувати складні вказівники на віртуальні бази vbpdr, що спрощує роботу та підвищує продуктивність.

Python можна віднести до сучасного етапу еволюції, який повернув можливість множинного успадкування, але зробив його безпечним завдяки алгоритму C3-лінеаризації, Method Resolution Order. Це стандарт побудови MRO. На відміну від C++, розробнику не потрібно вказувати шлях до методу вручну, мова автоматично будує плоский список пріоритетів виклику. Головна мета C3-лінеаризації — перетворити складний, спрямований ациклічний граф успадкування DAG у плаский список, який визначає послідовність пошуку методів. Алгоритм базується на правилі локального порядку пріоритетів та монотонності класів у списку. Монотонність гарантує збереження відносного порядку та принцип локального пріоритету.

Висновок. Еволюція ООП демонструє перехід від жорсткого ручного контролю до безпечних архітектурних обмежень та інтелектуальної автоматизації. Для критично важливих систем раціональним залишається підхід Java, тоді як для швидкої розробки складних ієрархій — Python.

Література

1. Stroustrup B. The C++ Programming Language. 4th ed. Addison-Wesley, 2013. 1366 p.
2. Van Rossum G. The Python Language Reference. Network Theory Ltd., 2003. 160 p.
3. Gosling J., Joy B., Steele G., Bracha G. The Java Language Specification. Java SE 21 Edition. Oracle, 2023. 784 p.

Часткове застосування метода формальної розробки RAISE

Олексій Піскунов, Наталя Тупко, Олексій Томащук
Державний університет 'Київський авіаційний інститут'

Вступ. З часу появи 1969 року першої спроби застосувати формальний метод розробки для компілятора PL/I і повної систематизації Віденського методу розробки у 1978 році минуло майже півстоліття [1]. Такі автори як Б.Мейєр, А.Хакстхаузен та ін. постійно вказують на важливість та корисність застосування формальних підходів у практичній роботі програмістів [2]. Але у різних оглядах на цю тему відзначається відсутність видимого прогресу у практичному використанні цих методів (наприклад [3]). Крім того, формальні методи завжди застосовуються та пояснюються на прикладі повного циклу розробки: від проектування до кінця. І в згаданих оглядах ([3]) відзначається, що так відштовхуються більшість програмістів у зв'язку з високим рівнем входження у формальний метод.

Матеріали та методи. У роботі були використані программування за контрактом, метод формальної розробки RAISE, мова формальної специфікації RSL та реалізація розроблених специфікацій засобами Guidelines Support Library (GSL) .

Результати та обговорення. Робота відповідала на наступне питання: нехай у певному проєкті обмежено використовуються методи формальної розробки. Чи можна розраховувати на більш раннє виявлення майбутніх відмов додатку? Як такий проект розглянемо відомий приклад порушення принципу підстановки. Він описує умови, за яких об'єкт похідного класу можна передавати у деяку функцію, яка як формальний параметр очікує об'єкт базового класу і робота функції буде відповідати своїй специфікації. Для виконання робіт формальний опис цього прикладу із [4] був запрограмований засобами GSL. В результаті вдалося отримати порушення контракту під час модульного тестування класів прикладу, під час виконання найпростіших тестів. Це демонструє користь часткового використання формальних методів, що дозволяє поступово привчати студентів до їх застосування в практичній роботі.

Висновок. Таким чином, в роботі було отримані такі результати:

- алгебраїчні вимоги до застосування функцій досить очевидно можуть кодуватися в макросах перевірки інваріантів, перед- та пост-умов;
- мова формальних специфікацій RSL досить легко поєднується з GSL;
- формальний підхід до розробки окремих модулів добре поєднується з V-подібною стратегією розробки всього додатку;
- часткове застосування методів формальної розробки лише до деяких модулів додатку може суттєво полегшити його розробку.

Література

6. Jones C.B. Bjørner D., editor. The Vienna Development Method: The Meta-Language, volume 61 of Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, Berlin, 1978.
7. Haxthausen A.E. Lecture notes on the RAISE development method. Technical report, Department of Information Technology, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 1999. Lecture notes, DTU IMM.
8. Woodcock J. Gleirscher M., Marmsoler D. A manifesto for applicable formal methods. Software and Systems Modeling, 22(6):1737–1749, 2023.
9. Піскунов А.Г. Про відмінності між поняттями типу та класу. Вісник Київського університету. Комп'ютерні науки. 3, стор.106–114, 2015.

Створення інформаційної системи для підтримки роботи відділу продаж ФОП "Євтушок В.О."

Андрій Позейчук, Михайло Грама
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасний бізнес перебуває на етапі активної цифровізації, що охоплює всі сфери діяльності підприємств, включно з управлінням продажами та клієнтською підтримкою. Для малих підприємств, таких як ФОП "Євтушок В.О.", впровадження інформаційної системи для автоматизації роботи відділу продажів дозволяє підвищити ефективність роботи, оптимізувати облік замовлень та взаємодію з клієнтами, а також забезпечити швидкий доступ до актуальної інформації.

Матеріали і методи. У дослідженні застосовано методи системного аналізу, моделювання бізнес-процесів та проєктування інформаційних систем.

Для розробки системи використано технології баз даних (MS SQL Server), мову програмування C# і середовище розробки Visual Studio. Проведено аналіз потреб користувачів, структури даних та функціональних вимог відділу продажів.

Результати та обговорення. Розроблена інформаційна система забезпечує:

- Автоматизацію обліку замовлень та клієнтів. Система дозволяє зберігати дані про клієнтів, їхні замовлення та історію взаємодій, що зменшує ризик втрати інформації та скорочує час обробки замовлень.
- Контроль товарних залишків і надходжень. Інтеграція з базою даних товарів забезпечує відстеження наявності продукції та формування звітів для планування закупівель.
- Оптимізацію роботи персоналу. Система дозволяє розподіляти завдання між співробітниками, контролювати виконання замовлень та формувати статистичні звіти.
- Аналітику продажів. Реалізовані модулі аналітики дозволяють оцінювати ефективність продажів, визначати найбільш популярні товари та клієнтські сегменти, що сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень.

Система має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, підтримує швидкий пошук даних та фільтрацію за різними критеріями, що полегшує роботу користувачів та підвищує продуктивність.

Висновки. Створення інформаційної системи для відділу продажів ФОП "Євтушок В.О." дозволяє автоматизувати рутинні процеси, підвищити точність обліку та ефективність управління замовленнями, а також покращити обслуговування клієнтів.

Впровадження системи сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства та забезпечує основу для подальшого розвитку цифрових технологій у бізнес-процесах. Перспективним напрямом подальших досліджень є інтеграція системи з мобільними додатками та платформами електронної комерції для розширення каналів продажів та покращення взаємодії з клієнтами.

Дослідження існуючих математичних моделей прогнозування рівня глюкози при цукровому діабеті 1 типу

Юрій Поліщук, Сергій Грибков
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Цукровий діабет 1 типу (ЦД1) потребує самостійного підбору дози інсуліну при кожному прийомі їжі. У системах підтримки прийняття рішень і штучної підшлункової залози застосовуються математичні моделі прогнозування глікемії, які здебільшого враховують лише кількість вуглеводів, ігноруючи глікемічний індекс (ГІ) та макронутрієнтний склад.

Матеріали і методи. Аналіз виконано в межах теоретичного дослідження на основі опрацювання матеріалів вітчизняних і зарубіжних науковців присвячених впливу ГІ, жирів і білків на постпрандіальний рівень глюкози при цукровому діабеті 1 типу. Здійснено порівняльний аналіз математичних моделей засвоєння вуглеводів та підходів до врахування основних чинників.

Результати та обговорення. У межах побудови математичних моделей засвоєння вуглеводів ГІ використано як ключовий параметри, що визначає форму функції надходження глюкози: для продуктів із високим ГІ модель формує різко виражений пік, тоді як для низького ГІ — більш пологий профіль. Це забезпечує адекватніше відтворення початкової фази глікемічної відповіді в алгоритмах прогнозування. Під час порівняння моделей встановлено, що ігнорування впливу жирів призводить до систематичних похибок. Жири змінюють динаміку спорожнення шлунку, що вимагає включення до моделей додаткових параметрів, які описують затримку та розтягнутість глікемічної кривої. Відповідно, використання моделей, що враховують цей фактор, дозволяє точніше відтворювати як ранню, так і відкладену фази глікемічної відповіді порівняно зі стандартними підходами.

Аналогічно, у процесі моделювання враховано як засвоюється білок, якщо відбувається підвищення глюкози внаслідок глюконеогенезу. Це обумовлює необхідність розширення моделей шляхом введення додаткових станів або часових лагів. Порівняльний аналіз показує, що інтеграція впливу жирів і білків у межах єдиної моделі суттєво підвищує точність прогнозування, тоді як їх ігнорування призводить до недооцінки пізньої глікемії. Формалізація моделей здійснюється у вигляді систем диференціальних рівнянь, що описують транспорт глюкози через «шлунок — кишечник — кров». Порівняння лінійних і нелінійних підходів показало, що моделі з нелінійною кінетикою спорожнення забезпечують більш реалістичне відтворення процесів травлення, однак потребують складнішої параметризації, зокрема з урахуванням ГІ та макронутрієнтного складу.

Модель з нелінійною функцією спорожнення, реалізована у програмному симуляторі UVA/Padova [3], точніше відтворює динаміку, але потребує параметризації за ГІ та макронутрієнтним складом. Практичні системи (OpenAPS, Loop) досі використовують спрощені лінійні моделі, компенсуючи неточність зворотним зв’язком від моніторів глюкози.

Висновки. Більшість існуючих алгоритмів прогнозування ігнорують основні фактори, зокрема через складність та нелінійність взаємодії між макронутрієнтами, що ускладнює побудову аналітичних моделей.

Література

1. Bell K.J. et al. (2015). Impact of fat, protein, and glycemic index on postprandial glucose control in type 1 diabetes, *Diabetes Care*, 38(6), pp. 1008–1015.

2. Smart C.E. et al. (2013). Both dietary protein and fat increase postprandial glucose excursions in children with type 1 diabetes, and the effect is additive, *Diabetes Care*, 36(12), pp. 3897–3902.

3. Dalla Man C. et al. (2014). The UVA/PADOVA type 1 diabetes simulator: new features, *J. Diabetes Sci. Technol.*, 8(1), pp. 26–34.

Метод прогнозування транспортного трафіку в місті на основі відкритих даних та гібридних моделей машинного навчання

Григорій Пономаренко
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Зростання транспортного навантаження в містах потребує точності прогнозування трафіку. Метою роботи є розроблення методу прогнозування транспортного трафіку на основі відкритих даних із використанням гібридних моделей машинного навчання.

Матеріали та методи. У дослідженні використано відкриті дані транспортного трафіку, що включають часові ряди інтенсивності руху та швидкості транспортних потоків. Дані проходили попередню обробку: очищення від пропусків, нормалізацію та агрегацію з часовим інтервалом 15-60 хв.

Для прогнозування застосовано гібридний підхід у поєднанні зі статистичними моделями та нейромережевими моделями типу LSTM.

Результати та обговорення. У результаті дослідження встановлено, що застосування гібридної моделі дозволяє підвищити точність прогнозування транспортного трафіку порівняно з використанням окремих підходів. Зокрема, середньоквадратична похибка прогнозу зменшується на 12-18% відносно статистичних моделей та на 8-12% порівняно з нейромереживими моделями типу LSTM. Аналіз показав, що статистичні моделі ефективно відтворюють трендові та сезонні компоненти транспортних потоків, проте демонструють обмежену точність у випадках різких змін інтенсивності руху. Нейромережеві моделі типу LSTM, навпаки, забезпечують більш точне моделювання нелінійних залежностей, однак можуть бути чутливими до шуму та обсягу навчальних даних.

Встановлено, що оптимальними параметрами для прогнозування є використання часових вікон 30-60 хв із врахуванням лагових ознак до 3 попередніх інтервалів. При цьому точність прогнозу підвищується за рахунок врахування короткострокових змін у транспортних потоках.

Застосування гібридного підходу дозволяє забезпечити стабільність прогнозування у пікові періоди навантаження транспортної мережі, зменшуючи коливання похибки до 10-15%. Це має важливе значення для задач оперативного управління дорожнім рухом у міських умовах.

Отримані результати підтверджують доцільність використання гібридних моделей для прогнозування транспортного трафіку та свідчать про їх ефективність у задачах інтелектуального управління транспортними системами.

Висновки. Розроблено метод прогнозування транспортного трафіку на основі відкритих даних із використанням гібридних моделей машинного навчання. Показано, що поєднання статистичних моделей та LSTM підвищує точність і стабільність прогнозування. Отримані результати підтверджують ефективність підходу.

Література.

1. Шайнюк, Вадим Олександрович. Метод прогнозування транспортних потоків за допомогою Інтернету речей та машинного навчання. Diss. Тернопіль, ЗУНУ, 2025.
2. Клочко, О. Ю. "Дослідження методів прогнозування дорожнього трафіку." (2023).

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ IoT-МЕРЕЖІ: ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У СЕНСОРНИХ СИСТЕМАХ

М.А. Приймак[1], М.П. Трембовецький[1]
[1]Київський національний університет імені Тараса Шевченка, факультет інформаційних технологій, Київ, Україна

Вступ. Інтернет речей (IoT) стрімко проникає у промисловий моніторинг, розумне землеробство, логістику та інфраструктуру розумних міст. За даними IoT Analytics, у 2025 році кількість активних IoT-підключень досягла 18,8 мільярда, а до 2030 року прогнозується зростання до 32,1 мільярда пристроїв. Значна частина цих пристроїв — автономні сенсорні вузли з батарейним живленням, розгорнуті у важкодоступних місцях: на сільськогосподарських полях, у промислових трубопроводах, на мостах та інших об'єктах інфраструктури. Саме обмежений енергоресурс є критичним вузьким місцем: радіопередача споживає до 60–80 % загального енергобюджету вузла. Для прикладу, радіомодуль SX1276 (LoRa) у режимі передачі потребує 120 мА при +17 дБм, тоді як мікроконтролер STM32L4 у режимі Stop2 споживає лише 1,3 мкА — різниця у п'ять порядків. Тому оптимізація режимів передачі даних безпосередньо визначає термін автономної роботи пристрою. Актуальність проблеми зростає з масштабуванням мереж до тисяч і десятків тисяч вузлів, де фізична заміна батарей стає економічно та логістично нездійсненною, а вартість обслуговування може перевищувати вартість самого обладнання.

Постановка проблеми. Типовий IoT-вузол працює в умовах жорстких обмежень: малопотужний мікроконтролер (ARM Cortex-M0/M4, тактова частота 16–80 МГц), обмежена оперативна пам'ять (16–256 КБ SRAM), нестабільний бездротовий канал та батарея ємністю 1 000–3 000 мА·год (типові елементи AA, CR123A або Li-SOCI2). Радіомодуль у режимі передачі споживає на два-три порядки більше струму, ніж процесор у сплячому режимі: наприклад, модуль nRF52840 (BLE) потребує 4,8 мА при передачі на 0 дБм, а NB-IoT модуль BC66 — до 220 мА у піковому режимі. Кожне увімкнення радіо включає фази: вихід із режиму сну (0,5–5 мс), калібрування генератора частоти, синхронізація з мережею, встановлення з'єднання, передача корисних даних та очікування підтвердження (ACK). Ці фіксовані накладні витрати становлять 30–200 мс залежно від протоколу і є незалежними від обсягу корисного навантаження. Для LoRaWAN з SF12 один цикл «пробудження — передача — прийом RX1/RX2» споживає ~50 мА·с, з яких лише 10–15 % припадає на власне корисну передачу. Задача полягає у мінімізації кількості та тривалості радіоактивацій за умови збереження прийнятної якості моніторингу за трьома критеріями: повнотою (completeness), точністю (accuracy) та латентністю (freshness) даних.

Додатковим обмеженням є регуляторні вимоги: у нелицензованих діапазонах (ISM 868 МГц в Європі) існує обмеження duty cycle на рівні 1 % для деяких піддіапазонів, що фізично обмежує максимальну кількість передач на годину. Для NB-IoT та LTE-M обмеження duty cycle відсутні, проте вартість трафіку і вищий піковий струм створюють інші обмежуючі фактори. Таким чином, проблема оптимізації передачі є багатокритеріальною: необхідно балансувати між енергоспоживанням, латентністю, надійністю доставки та вартістю каналу зв'язку.

Методи та підходи. У роботі систематизовано п'ять основних стратегій зниження енергоспоживання на рівні передачі даних. Кожна стратегія діє на різному рівні мережевого стеку та може комбінуватися з іншими для досягнення кумулятивного

ефекту. Класифікацію побудовано за принципом зростання складності реалізації: від конфігураційних змін до алгоритмічних рішень із зворотним зв'язком.

1) Керування циклом сну (duty cycling). Вузол перебуває у глибокому сні (Deep Sleep / Stop / Shutdown) більшу частину часу та пробуджується за таймером RTC або зовнішнім перериванням від датчика (wake-on-threshold). Сучасні MCU підтримують декілька рівнів сну з різним споживанням: для STM32L4 режим Stop2 споживає 1,3 мкА зі збереженням SRAM, а Shutdown — 30 нА із втратою контексту. Скорочення активного вікна з 10 % до 1 % здатне подовжити термін роботи в 5–8 разів. Ключовим аспектом є планування інтервалів пробудження: для Class A пристроїв LoRaWAN вузол відкриває вікна прийому (RX1, RX2) лише після власної передачі, що мінімізує час прослуховування ефіру. Class B додає періодичні beacon-слоти для прийому downlink-повідомлень із передбачуваною латентністю, але потребує додаткової синхронізації з мережевим шлюзом, збільшуючи середній duty cycle на 0,1–0,5 %.

2) Пакетування та буферизація. Замість миттєвої відправки кожного зчитування вузол накопичує N вимірювань у локальному кільцевому буфері (ring buffer у SRAM або зовнішній EEPROM/Flash для збереження при перезавантаженні) й передає їх одним пакетом. Це амортизує фіксовані витрати на встановлення сесії: для LoRaWAN (SF7, BW 125 кГц) передача 10-байтового пакета споживає приблизно стільки ж енергії на overhead, як і 50-байтового, оскільки преамбула, заголовок MAC та вікна RX залишаються сталими. Пакетування 10 зчитувань зменшує кількість радіоактивацій у 10 разів за рахунок збільшення латентності на одиниці хвилин. Для NB-IoT ефект ще помітніший: процедура Random Access + RRC Setup займає 1,5–5 с і споживає ~0,5 мА·с, тому концентрація даних у менших сесіях критично важлива. Обмеження підходу — при втраті пакета втрачаються всі буферизовані зчитування, тому для критичних застосувань доцільно впроваджувати механізм повторної передачі або дублювання.

3) Адаптивна дискретизація та подієва передача. Частота вимірювань і відправок динамічно регулюється залежно від швидкості зміни контрольованого параметра. У стабільному стані інтервал між передачами збільшується до максимального (наприклад, 15–60 хв); при різкій зміні — вузол негайно передає подію. Найпоширеніші алгоритми: «send-on-delta» (передача при $|x_{new} - x_{last_sent}| > \Delta$), лінійна апроксимація з допуском (Swinging Door Trending) та двопороговий детектор із зонами гістерезису для уникнення осциляцій. Алгоритм send-on-delta з порогом $\Delta = 0{,}5$ °C для температурних даних скорочує трафік на 40–70 % без втрати інформації про значущі зміни. Для вібраційного моніторингу промислового обладнання, де важливі короткочасні піки, ефективнішим є підхід on-event: вузол безперервно зчитує акселерометр у режимі FIFO та ініціює передачу лише при перевищенні амплітудного порогу, що скорочує радіоактивації до 2–5 на добу замість сотень при фіксованому інтервалі.

4) Локальна агрегація та стиснення. Периферійна обробка (edge computing) безпосередньо на вузлі дозволяє передавати не сирі зчитування, а агреговані статистики: середнє, мінімум, максимум, стандартне відхилення, кількість перетинів порогу за інтервал. Для задач моніторингу мікроклімату (температура, вологість, тиск) агрегація за 10-хвилинні вікна зменшує кількість переданих значень у 20–60 разів при збереженні достатньої інформативності. Стиснення реалізується дельта-кодуванням (передача різниці між послідовними значеннями, що для повільно змінних сигналів зменшує розрядність із 16 до 4–8 біт на відлік), а також легковагими алгоритмами: miniLZO (коефіцієнт стиснення 1,5–3× при мінімальному використанні RAM), Huffman-кодування або Run-Length Encoding для бінарних сигналів. Агрегація

зменшує корисне навантаження пакета у 3–5 разів, що критично для LPWAN-протоколів із обмеженим розміром кадру: 51 байт для LoRaWAN DR0 (SF12), 242 байти для DR5 (SF7), 512 байт для NB-IoT у режимі Non-IP Data Delivery (NIDD).

5) Вибір енергоефективного протоколу. На транспортному рівні протоколи CoAP/UDP та MQTT-SN мають значно менші накладні витрати, ніж HTTP/TCP. CoAP-пакет із 4-байтовим заголовком проти мінімум 20-байтового TCP-заголовка + TLS-handshake зменшує overhead у 5–10 разів для коротких повідомлень. MQTT-SN (Sensor Networks) працює поверх UDP і підтримує QoS -1 (fire-and-forget), що дозволяє відправити повідомлення без попереднього встановлення з'єднання з брокером — ідеально для вузлів із рідкісними передачами. На фізичному рівні технології LPWAN оптимізовані для рідкісних передач малих пакетів: LoRa забезпечує дальність 2–15 км при потужності 25–120 мА; NB-IoT — до 10 км із кращим проникненням у будівлі (MCL 164 дБ) при піковому споживанні 120–220 мА; LTE-M (Cat-M1) підтримує мобільність і голосовий зв'язок, але споживає більше — до 300–500 мА. Для сценарію стаціонарної телеметрії з інтервалом понад 10 хв LoRaWAN Class A забезпечує 5–10 років автономності на батареї 2 400 мА·год; для мобільних asset-tracking задач із частотою оновлення 1–5 хв оптимальним є LTE-M із режимом eDRX/PSM.

Перспективні напрямки. Окремої уваги заслуговують два напрямки, що активно розвиваються: збір енергії з навколишнього середовища (energy harvesting) та інтеграція легковагих моделей машинного навчання (TinyML) на рівні вузла.

Energy harvesting із сонячних панелей (5–50 мВт для мініатюрних елементів), термоелектричних генераторів (10–100 мкВт від градієнта $\Delta T = 5–10$ °C) або вібраційних п'єзоелементів (1–10 мкВт) дозволяє перевести вузол у режим енергетичної нейтральності (energy-neutral operation), коли середнє споживання не перевищує середнє надходження енергії. У цьому випадку алгоритм передачі даних має адаптуватися не лише до стану сигналу, а й до поточного рівня заряду суперконденсатора або акумулятора, реалізуючи стратегію energy-aware scheduling.

TinyML-моделі (нейронні мережі розміром 10–100 КБ, що виконуються за допомогою TensorFlow Lite Micro або Edge Impulse) здатні класифікувати стан обладнання, виявляти аномалії або прогнозувати тренд безпосередньо на MCU. Замість передачі 100 зчитувань акселерометра за секунду вузол може передати один байт класу стану («норма» / «попередження» / «аварія»), скорочуючи трафік на 99 %. Виклик полягає у балансуванні між енергією на обчислення моделі (1–10 мДж на інференс) та заощадженою енергією на передачу.

Результати. Комбінування описаних підходів дає синергетичний ефект. Для кількісної оцінки розглянуто модельний сенсорний вузол на базі MCU STM32L476 + радіомодуль SX1276 (LoRa), з батареєю CR123A (3 В, 1 500 мА·год), який передає дані температури (SHT30) та вологості. Енергетичну модель побудовано на основі datasheet-значень споживання у кожному режимі.

Базова стратегія (naive): передача кожні 30 с, без оптимізацій — час автономної роботи становить приблизно 18 діб. Стратегія 1: duty cycle 1 % + пакетування 10 зчитувань (інтервал передачі 5 хв) — ~8 місяців (зростання у 13 разів). Стратегія 2: додавання адаптивної дискретизації send-on-delta ($\Delta = 0{,}5$ °C) — середня кількість передач скорочується до 8–12 на добу, час роботи зростає до ~14 місяців. Стратегія 3: повний стек (duty cycle + пакетування + адаптивна дискретизація + дельта-стиснення із агрегацією min/max/avg за 10-хвилинні вікна) — час автономної роботи перевищує 2 роки (зростання у ~40 разів порівняно з naive). 95-й перцентиль латентності при стратегії 3 не перевищує 5 хвилин, а втрата інформативності (оцінена як NRMSE

реконструйованого сигналу) становить менше 3 %, що прийнятно для більшості задач екологічного та інфраструктурного моніторингу.

Порівняльний аналіз протоколів показав, що для стаціонарних вузлів із інтервалом передачі >10 хв LoRaWAN Class A є найбільш енергоефективним рішенням (середнє споживання 8–15 мкА), тоді як для мобільних сценаріїв із частотою оновлення 1–5 хв LTE-M із PSM (Power Saving Mode) забезпечує кращий баланс між покриттям, латентністю та автономністю (~2–3 роки на батареї 5 000 мА·год).

Висновки. Оптимізація передачі даних є найефективнішим практичним шляхом підвищення автономності IoT-вузлів, оскільки радіообмін домінує в енергобюджеті пристрою (60–80 %). Систематизація п'яти стратегій показала, що найбільший внесок забезпечує скорочення кількості радіоактивацій через керування duty cycle та пакетування (зростання автономності у 13 разів); додаткове зниження трафіку дає адаптивна дискретизація та локальна агрегація (сумарно до 40-кратного зростання). Кожна стратегія вносить компроміс між енергозбереженням та латентністю або гранулярністю даних, тому оптимальна конфігурація залежить від конкретного сценарію: для екологічного моніторингу допустима латентність 5–15 хв дозволяє застосувати агресивне пакетування, тоді як для промислових систем раннього попередження необхідна подієва передача з латентністю до 1 с.

Подальші дослідження доцільно спрямувати у трьох напрямках: (1) інтеграція TinyML-моделей для предиктивної передачі та аномально-орієнтованого моніторингу, що потенційно скоротить трафік на 95–99 % для вібраційних та акустичних даних; (2) розробка алгоритмів energy-aware scheduling, що динамічно адаптують стратегію передачі до рівня заряду при використанні energy harvesting; (3) дослідження кооперативних протоколів, де вузли об'єднують дані через mesh-топологію (наприклад, Thread/OpenThread) перед передачею на шлюз, розподіляючи енергетичне навантаження між учасниками мережі.

Література

1. Al-Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M. et al. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2015, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376.

2. Rault T., Bouabdallah A., Challal Y. Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey. *Computer Networks*, 2014, vol. 67, pp. 104–122.

3. Shelby Z., Hartke K., Bormann C. The Constrained Application Protocol (CoAP). IETF RFC 7252, 2014.

4. MQTT Version 5.0. OASIS Standard, 2019.

5. Mekki K., Bajic E., Chaxel F., Meyer F. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 2019, vol. 5, no. 1, pp. 1–7.

6. Sinha R. S., Wei Y., Hwang S. H. A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. *ICT Express*, 2017, vol. 3, no. 1, pp. 14–21.

7. Anastasi G., Conti M., Di Francesco M., Passarella A. Energy conservation in wireless sensor networks: A survey. *Ad Hoc Networks*, 2009, vol. 7, no. 3, pp. 537–568.

8. Bormann C., Ersue M., Keranen A. Terminology for Constrained-Node Networks. IETF RFC 7228, 2014.

9. Banbury C., Zhou C., Fedorov I. et al. Benchmarking TinyML Systems: Challenges and Direction. *arXiv preprint*, 2020, arXiv:2003.04821.

Розробка системи для побудови індивідуальної траєкторії навчання здобувачів освіти ЗВО

Дмитро Романчук, Віталій Сватко

Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. В умовах активної цифровізації освітнього середовища та впровадження студентоцентрованого підходу, реалізація права здобувачів на вільний вибір навчальних дисциплін потребує сучасних програмних рішень. Метою роботи є розробка автоматизованої інформаційної системи, яка не лише надає доступ до каталогу вибіркових компонентів, а й допомагає студентові сформувати індивідуальну освітню траєкторію (ІОТ), що максимально відповідає його цілям професійного розвитку.

Методи і матеріали. Методологічною основою дослідження є системний аналіз освітніх процесів, а також методи опитування (анкетування) для формалізації професійних потреб користувача [1, 2]. Для програмної реалізації системи обрано сучасний стек вебтехнологій. Клієнтська частина (фронтенд) розробляється на базі бібліотеки React з використанням фреймворку Tailwind CSS, що забезпечує гнучкий, адаптивний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Серверна частина (бекенд) реалізується на платформі Node.js (з використанням архітектурних підходів фреймворку NestJS/Express) для забезпечення ефективної обробки запитів та маршрутизації даних.

Результати. Розроблено архітектуру та логічну структуру інформаційної системи, ключовим елементом якої є інтелектуальний модуль підбору дисциплін. Процес формування ІОТ у системі відбувається у два етапи:

1. Профілювання здобувача: проходження вхідного анкетування для визначення побажань щодо майбутньої професійної діяльності та інтересів.
2. Генерація рекомендацій: система аналізує результати анкети та зіставляє їх із довідником вибіркових дисциплін.

Довідник системи структурований у розрізі конкретних спеціальностей. Кожна дисципліна у базі даних має чітко визначені атрибути: назва, семестр викладання, кількість кредитів ЄКТС та ключові теги компетентностей. Це дозволяє системі не просто пропонувати випадковий список, а формувати релевантну вибірку, з якої студент конструює свій остаточний навчальний план із дотриманням вимог щодо загального обсягу кредитів.

Висновки. Практичне значення розробленої системи полягає у цифровізації та інтелектуалізації процесу вибору навчальних дисциплін. Запропоноване рішення дозволяє здобувачам освіти здійснювати усвідомлений вибір, спираючись на власні кар'єрні пріоритети, а закладу вищої освіти - автоматизувати збір даних для формування навчальних груп та планування навантаження кафедр.

Література

1. Косіюк М. М., Більовський К. Е., Лисак В. М. Автоматизована інформаційна система управління закладом вищої освіти «Електронний університет» // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2023. – Т. 93, № 1. – С. 96-116.
2. Шаров С. В., Шарова Т. М. Формування індивідуальної освітньої траєкторії студента засобами інформаційної системи // Науковий вісник МДПУ. Серія: Педагогіка. – 2017. – № 2 (19). – С. 151-158.

Ізоляція та взаємодія мікрофронтендів на основі Web Components

Ярослава Семенова, Микола Пирог
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

Вступ. Зі зростанням складності веб-застосунків мікрофронтендна архітектура стикається з проблемами конфліктів глобального контексту, зокрема стилів та залежностей. Метою дослідження є оцінка ефективності використання Web Components як механізму ізоляції та забезпечення контрольованої взаємодії між незалежними модулями.

Матеріали та методи. Дослідження проведено на експериментальному веб-застосунку, що складається з двох незалежних мікрофронтендів, реалізованих за допомогою Custom Elements та Shadow DOM (JavaScript). Для порівняння використано альтернативні підходи ізоляції (iframe та спільний DOM). Оцінювання здійснювалось за критеріями: рівень ізоляції стилів, конфлікти глобальних змінних, час завантаження компонентів та складність інтеграції.

Результати та обговорення. Експериментально доведено, що Shadow DOM забезпечує повну ізоляцію стилів: при використанні ідентичних імен класів (.btn, .header) у двох компонентах конфліктів не зафіксовано (0 колізій). Натомість класичні підходи призводять до витоку стилів у 15% випадків через специфічність селекторів.

Час ініціалізації компонентів у середньому склав: Web Components – 12–18 мс; iframe – 35–50 мс; спільний DOM – 8–12 мс.

Збільшення часу для iframe пояснюється створенням окремого контексту документа та додатковими витратами на завантаження. Водночас Web Components мають незначні накладні витрати порівняно зі спільним DOM через використання Shadow DOM, однак забезпечують значно вищий рівень ізоляції. При аналізі взаємодії між мікрофронтендами встановлено, що використання iframe потребує передачі даних через механізм postMessage, що ускладнює реалізацію та збільшує обсяг допоміжного коду приблизно на 25–30%. Натомість Web Components дозволяють реалізувати взаємодію через кастомні DOM-події та атрибути, що спрощує інтеграцію та зменшує затримки обміну даними (на 10–15% у порівнянні з iframe).

Додатково виявлено, що у сценаріях зі спільним DOM виникають конфлікти глобальних змінних (до 3 випадків при підключенні сторонніх бібліотек), а також проблеми з різними версіями залежностей. Використання Web Components дозволяє локалізувати логіку компонентів і мінімізувати вплив глобального простору імен. При цьому спільний DOM підхід демонструє найменший час завантаження, але має найнижчий рівень ізоляції, що обмежує його застосування у великих проєктах.

Висновок. Отримані результати підтверджують, що Web Components є ефективним компромісом між повною ізоляцією (iframe) та високою продуктивністю (спільний DOM), забезпечуючи достатній рівень незалежності компонентів без суттєвого ускладнення архітектури.

Література

1. Petcu, A., Frunzete, M., & Stoichescu, D. A. (2023). Benefits, challenges, and performance analysis of a scalable web architecture based on micro-frontends. University Politehnica of Bucharest, Scientific Bulletin., Series C, 85(3), 319-334.
2. WHATWG. (2026). *HTML Living Standard.* [online]. URL: https://html.spec.whatwg.org/multipage/

Інноваційні підходи до харчової інженерії в умовах цифрової трансформації

Ольга Сєдих
Національний університет харчових технологій

Вступ. Харчова інженерія та технології є однією з найдинамічніших галузей сучасної промисловості, де інформаційні технології відіграють дедалі важливішу роль. Вони забезпечують точність виробничих процесів, оптимізацію ресурсів, контроль якості та безпеки продукції, а також відкривають нові можливості для інноваційного розвитку. Цифровізація харчової інженерії формує нову парадигму, де традиційні методи поєднуються з сучасними інформаційними системами, створюючи ефективне та стійке виробництво.

Матеріали та методи. Одним із ключових напрямів застосування інформаційних технологій є автоматизація виробничих процесів. Сучасні підприємства використовують програмні комплекси для управління технологічними лініями, контролю параметрів обробки та зберігання продуктів. Це дозволяє мінімізувати людський фактор, забезпечити стабільність якості та знизити витрати.

Наприклад, у виробництві хлібобулочних виробів автоматизовані системи контролю температури та вологості гарантують оптимальні умови випікання, що безпосередньо впливає на смакові характеристики та безпечність продукції.

Результати та обговорення. Інформаційні технології активно застосовуються у сфері моделювання та проектування харчових процесів. Використання комп'ютерних симуляцій дозволяє прогнозувати поведінку харчових сумішей, оптимізувати рецептури та визначати найефективніші технологічні режими. Це особливо важливо для створення нових продуктів із заданими властивостями, наприклад, дієтичних чи функціональних харчових виробів.

Завдяки цифровим моделям інженери можуть експериментувати з різними комбінаціями інгредієнтів без необхідності витрачати значні ресурси на реальні випробування.

Важливим аспектом є застосування інформаційних технологій у контролі якості та безпеки харчових продуктів.

Системи моніторингу дозволяють відстежувати параметри виробництва у режимі реального часу, фіксувати дані про хімічний склад, мікробіологічні показники та інші критичні характеристики. Використання цифрових баз даних забезпечує можливість порівняння результатів із міжнародними стандартами та швидке виявлення відхилень. Це формує новий рівень довіри споживачів до продукції та підвищує конкурентоспроможність підприємств.

Інформаційні технології відіграють значну роль у сфері логістики та управління ланцюгами постачання.

Системи планування та контролю дозволяють оптимізувати маршрути доставки, забезпечувати дотримання температурних режимів під час транспортування та зберігання, а також відстежувати походження кожної партії продукції. Це особливо актуально для швидкопсувних продуктів, де навіть невелике відхилення від умов зберігання може призвести до втрати якості.

Не менш важливим є використання інформаційних технологій у сфері досліджень та інновацій. Аналіз великих масивів даних про харчові продукти, їхній вплив на організм та взаємодію з іншими компонентами відкриває шлях до персоналізованого харчування.

Завдяки цифровим інструментам можна створювати продукти, які відповідають індивідуальним потребам споживачів, враховуючи їхній вік, стан здоров'я та спосіб життя. Це формує нову культуру харчування, де технології стають засобом підвищення якості життя.

Водночас цифровізація харчової інженерії супроводжується певними викликами. Серед них – необхідність захисту даних, стандартизації інформаційних систем та забезпечення доступності технологій для малих і середніх підприємств. Важливо створювати умови для рівного доступу до сучасних інструментів, щоб уникнути монополізації та сприяти розвитку інновацій у всіх сегментах галузі.

Висновки. Таким чином, інформаційні технології в харчові технології та інженерія є потужним чинником модернізації та розвитку. Вони забезпечують автоматизацію виробництва, моделювання процесів, контроль якості, оптимізацію логістики та створення нових продуктів.

Попри виклики, їхній потенціал у трансформації харчової промисловості є надзвичайно великим. Майбутнє харчових технологій та інженерії неможливе без інтеграції інформаційних технологій, адже саме вони формують нові можливості, що відповідають вимогам сучасного світу та очікуванням споживачів. Додатково варто зазначити, що цифрові інструменти сприяють розвитку персоналізованого харчування, яке враховує індивідуальні потреби людини.

Вони також забезпечують більш ефективне використання ресурсів, знижуючи екологічний вплив виробництва. Інформаційні технології відкривають шлях до глобальної інтеграції харчових систем, де міжнародний обмін даними стає основою для спільних інновацій. У результаті харчова інженерія отримує новий рівень гнучкості та стійкості, що дозволяє їй відповідати викликам майбутнього.

Література

1. Слободян Т. А. Роль цифрових технологій у харчовій промисловості. Миколаївський національний аграрний університет, 2021.
2. Бібик В. І. Інтеграція харчової промисловості України до глобальної цифрової інфраструктури: магістерська дисертація. Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2024.
3. Інноваційні технології та інжиніринг в харчовій промисловості: конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заоч. форм навчання спец. 181 «Харчові технології», ОПП «Харчові технології в ресторанній індустрії»; уклад.: П. П. Пивоваров, О. О. Гринченко, М. Л. Серік; ДБТУ. Харків : [б. в.], 2025. 150 с.

Інформаційні технології в освіті: нові можливості навчання

Ольга Сєдих
Національний університет харчових технологій

Вступ. Сучасний світ стрімко змінюється під впливом цифрових технологій, і освіта є однією з тих сфер, де ці зміни відчуваються найглибше. Інформаційні технології стали не лише інструментом підтримки навчального процесу, а й рушійною силою його трансформації. Вони відкривають нові можливості для викладачів, здобувачів та закладів освіти, формуючи середовище, яке відповідає потребам суспільства знань та глобалізованої економіки.

Матеріали та методи. У дослідженні використано цифрові інструменти — онлайн-платформи, мультимедійні ресурси, симуляції та програми для дистанційного навчання. Ефективність їх застосування оцінювали через аналіз матеріалів, опитування викладачів і студентів та спостереження за навчальним процесом. Це дозволило визначити, як технології роблять освіту доступнішою, цікавішою та зручнішою для різних груп здобувачів.

Результати та обговорення. Одним із ключових аспектів впровадження інформаційних технологій у навчання є доступність знань. Якщо раніше освітні ресурси були обмежені бібліотеками та друкованими матеріалами, то сьогодні цифрові платформи дозволяють отримати доступ до величезних масивів інформації у будь-який час і з будь-якого місця. Онлайн-курси, електронні бібліотеки, інтерактивні навчальні системи створюють умови для індивідуалізованого навчання, де кожен здобувач може обирати темп і глибину засвоєння матеріалу. Це особливо важливо для тих, хто поєднує навчання з роботою або має особливі освітні потреби.

Важливим напрямом є використання мультимедійних технологій у навчанні. Відеолекції, інтерактивні симуляції, віртуальна та доповнена реальність дозволяють відтворювати складні процеси та явища, які важко пояснити лише словами чи текстом. Наприклад, у фізиці чи біології здобувачі можуть спостерігати моделювання експериментів, які в реальних умовах потребували б значних ресурсів. У медицині віртуальні тренажери допомагають майбутнім лікарям відпрацьовувати навички без ризику для пацієнтів. Таким чином, інформаційні технології роблять навчання більш наочним, практичним і захопливим. Окремої уваги заслуговує питання формування цифрової компетентності. Вміння критично оцінювати інформацію, захищати власні дані, використовувати сучасні програмні засоби стає невід'ємною частиною професійної підготовки. У цьому контексті інформаційні технології виступають не просто інструментом, а предметом навчання, що формує нову культуру знань. У перспективі інформаційні технології відкривають шлях до глобальної інтеграції освітніх систем. Міжнародні онлайн-платформи дозволяють здобувачам з різних країн навчатися разом, обмінюватися досвідом та культурними особливостями. Це сприяє формуванню світогляду, заснованого на толерантності та співпраці. Освіта стає інструментом не лише професійного розвитку, а й міжкультурного діалогу.

Висновки. Таким чином, інформаційні технології в освіті є потужним чинником модернізації та розвитку. Вони забезпечують доступність знань, створюють нові форми взаємодії, роблять навчання більш наочним і практичним, сприяють інклюзивності та формуванню цифрової компетентності. Майбутнє освіти неможливе без інтеграції інформаційних технологій, адже саме вони формують нові можливості навчання, які відповідають вимогам сучасного світу

Реалізація природоохоронних задач в Excel

Ірина Кривоносова, Ольга Сєдих
Національний університет харчових технологій

Вступ. Сучасний етап розвитку суспільства характеризується загостренням екологічних проблем, що пов'язані з нераціональним використанням природних ресурсів, забрудненням довкілля та зміною клімату. Вирішення природоохоронних задач потребує застосування ефективних інструментів аналізу, обробки та прогнозування даних. Одним із доступних і потужних засобів є табличний процесор Microsoft Excel, який дозволяє моделювати екологічні процеси, аналізувати статистику та приймати обґрунтовані рішення.

Матеріали та методи. Microsoft Excel є універсальним інструментом для роботи з даними, що широко застосовується у різних галузях, у тому числі й в екології. Основні можливості Excel, які можуть бути використані для реалізації природоохоронних задач, включають: обробку великих масивів даних, виконання математичних і статистичних розрахунків; побудову графіків та діаграм; моделювання процесів за допомогою формул; використання інструментів аналізу даних (наприклад, «Підбір параметра», «Пошук рішення»). Завдяки цим можливостям Excel стає ефективним засобом для аналізу стану навколишнього середовища та прогнозування змін. Крім того, Excel дозволяє інтегрувати дані з інших джерел, що робить його зручним для комплексного аналізу. Використання умовного форматування та макросів допомагає автоматизувати процеси обробки інформації. Це значно скорочує час на виконання рутинних операцій та підвищує точність результатів. Важливою перевагою є можливість адаптації інструментів Excel до конкретних екологічних задач, що робить його універсальним засобом для досліджень. Також Excel дозволяє створювати шаблони для повторюваних розрахунків, що спрощує роботу дослідників і студентів.

Результати та обговорення. Одним із основних напрямів застосування Excel є аналіз екологічних показників. Наприклад, використання лінійних діаграм допомагає виявити: зростання рівня забруднення; сезонні коливання; критичні перевищення норм. Excel дозволяє створювати математичні моделі екологічних процесів. показники різних регіонів; відобразити динаміку змін. Використання умовного форматування дозволяє автоматично виділяти критичні значення, що спрощує аналіз.

Серед основних переваг Excel: доступність і простота використання; універсальність; наявність великої кількості вбудованих функцій; можливість швидкого аналізу даних. Однак існують і певні обмеження: обмежена точність при складних наукових розрахунках; складність роботи з дуже великими наборами даних; обмежені можливості для складного моделювання порівняно зі спеціалізованими програмами. Водночас, для базового та середнього рівня екологічних досліджень Excel залишається незамінним інструментом. Він може бути використаний як навчальний засіб для студентів, так і практичний інструмент для екологів-практиків.

Висновки. Отже, Microsoft Excel є ефективним інструментом для реалізації природоохоронних задач. Він дозволяє аналізувати екологічні дані, моделювати процеси, оцінювати ефективність заходів та візуалізувати результати. Незважаючи на певні обмеження, Excel залишається доступним і зручним засобом для вирішення широкого спектра екологічних проблем, особливо у навчальній та практичній діяльності. Його використання сприяє формуванню екологічної культури та розвитку навичок роботи з даними. Excel

Штучний інтелект в екології: перспективи та ризики

Ольга Сєдих
Національний університет харчових технологій

Вступ. Сучасна екологія стикається з численними викликами, серед яких глобальне потепління, забруднення довкілля, зменшення біорізноманіття та виснаження природних ресурсів.

У пошуку ефективних рішень людство дедалі активніше звертається до новітніх технологій, і штучний інтелект (ШІ) стає одним із найперспективніших інструментів у цій сфері.

Його здатність аналізувати великі масиви даних, прогнозувати тенденції та оптимізувати процеси відкриває нові горизонти для екологічних досліджень і практики. Водночас використання ШІ супроводжується низкою ризиків, які потребують уважного осмислення та регулювання.

Матеріали та методи. Основними матеріалами для дослідження ролі штучного інтелекту в екології є дані супутникового моніторингу, результати сенсорних вимірювань стану довкілля, статистичні бази щодо кліматичних змін та біорізноманіття, а також інформація з міжнародних екологічних програм. Методи дослідження включають порівняльний аналіз алгоритмів машинного навчання, моделювання сценаріїв розвитку екологічних процесів, а також оцінку ефективності систем прогнозування ризиків.

Результати та обговорення. Перспективи застосування штучного інтелекту в екології надзвичайно широкі. Одним із ключових напрямів є моніторинг стану довкілля. Завдяки алгоритмам машинного навчання можна аналізувати дані зі супутників, дронів та сенсорних систем, що дозволяє відстежувати рівень забруднення повітря, води та ґрунтів у режимі реального часу.

Це створює умови для оперативного реагування на екологічні загрози та запобігання їх поширенню. Наприклад, системи на основі ШІ здатні прогнозувати поширення лісових пожеж, враховуючи погодні умови та стан рослинності, що значно підвищує ефективність заходів із їхнього попередження.

Штучний інтелект також активно використовується у сфері збереження біорізноманіття. Алгоритми розпізнавання зображень допомагають ідентифікувати види рослин і тварин, відстежувати їхню чисельність та ареали поширення. Це особливо важливо для охорони рідкісних і зникаючих видів, адже дозволяє створювати точні карти їхніх ареалів та розробляти стратегії захисту. Крім того, ШІ може аналізувати взаємодію різних екосистемних факторів, прогнозуючи наслідки змін клімату для конкретних видів чи територій.

Важливим напрямом є застосування штучного інтелекту в управлінні природними ресурсами. Системи на основі ШІ здатні оптимізувати використання води, енергії та земельних ресурсів, враховуючи екологічні та економічні аспекти. Наприклад, у сільському господарстві алгоритми допомагають визначати оптимальні строки поливу та внесення добрив, що підвищує ефективність виробництва.

У сфері енергетики ШІ використовується для прогнозування споживання електроенергії та інтеграції відновлюваних джерел у загальну систему.

Не менш значущим є застосування штучного інтелекту у сфері екологічної політики та планування. Аналіз великих масивів даних дозволяє моделювати наслідки різних сценаріїв розвитку, оцінювати ефективність екологічних програм та

прогнозувати довгострокові тенденції. Це створює підґрунтя для прийняття обґрунтованих рішень, які враховують як економічні, так і екологічні фактори.

Водночас використання штучного інтелекту в екології супроводжується низкою ризиків. Одним із них є проблема достовірності даних.

Алгоритми ШІ працюють на основі інформації, яку отримують, і якщо ці дані є неповними або викривленими, результати аналізу можуть бути хибними. Це особливо небезпечно у сфері екології, де помилки можуть призвести до серйозних наслідків для довкілля та здоров'я людей.

Іншим ризиком є залежність від технологій. Надмірне покладання на ШІ може знизити роль людського фактору та критичного мислення. Екологічні рішення потребують не лише математичних розрахунків, а й етичного осмислення, врахування соціальних та культурних аспектів.

Якщо ці елементи будуть ігноруватися, існує загроза формування технократичного підходу, де інтереси природи та суспільства можуть залишитися поза увагою.

Не менш актуальним є питання безпеки даних. Екологічна інформація може мати стратегічне значення, і її використання потребує захисту від несанкціонованого доступу чи маніпуляцій. У випадку порушення безпеки існує ризик використання даних у політичних чи економічних цілях, що може негативно вплинути на екологічну політику та міжнародну співпрацю.

Висновки. Таким чином, штучний інтелект у сфері екології постає як потужний інструмент, здатний змінити підходи до моніторингу довкілля, управління природними ресурсами та формування екологічної політики.

Його перспективи полягають у можливості швидкого аналізу великих масивів даних, прогнозуванні ризиків та створенні інноваційних рішень для збереження біорізноманіття й запобігання екологічним катастрофам.

Водночас існують ризики, пов'язані з достовірністю даних, енергоспоживанням, безпекою інформації та надмірною залежністю від технологій. Тому інтеграція штучного інтелекту в екологію має здійснюватися з урахуванням етичних, соціальних та екологічних аспектів, а також у поєднанні з традиційними методами дослідження та управління.

Лише за умови відповідального використання ШІ може стати справжнім союзником у забезпеченні сталого розвитку та збереженні планети для майбутніх поколінь.

Розроблення інформаційної системи підтримки роботи інспектора відділу кадрів НУХТ

Ілля Терещенко, Михайло Грама
Національний університет харчових технологій

Вступ. Робота інспектора з кадрами пов'язана з постійним навантаженням на зір через великі обсяги текстових даних. Головною метою є підвищення ефективності кадрового обліку та зменшення стомлюваності спеціалістів шляхом розробки єдиної інформаційної системи з ергономічним інтерфейсом та автоматизацією щоденних рутинних завдань [1].

Матеріали і методи. Дослідження базувалося на аналізі документообігу кадрової служби університету та типових шаблонів звітності. Нормалізація даних допоможе створити єдину базу даних, де можливо зберігати дані про працівників з можливістю мати на одну людину декілька записів відпусток чи наукових робіт. Для автоматизації обрано підхід із використанням випадаючих списків для заповнення полів та генерацією звітів у форматах xlsx і pdf за попередньо створеними шаблонами в системі. При проєктуванні інтерфейсу застосовано спокійну, нейтральну кольорову гаму з висококонтрастними елементами для зниження зорової втоми [2].

Результати і обговорення. Впровадження розробленої системи показало, що автоматизація може скоротити час формування кадрової звітності з годин до кількох хвилин, повністю усуваючи необхідність ручного заповнення інформації по різним носіям. Комфортний інтерфейс, створений на основі карток, підвищить задоволеність користувача, що в свою чергу полегшує перехід від паперових аналогів. Зекономлений робочий час дозволить спеціалістам приділяти більше уваги аналітичним завданням чи професійному розвитку, а не рутинному заповненню паперів. Система не лише зможе прискорити документообіг, але й сприятиме покращенню умов праці, знижуючи ризик вигорання та підвищуючи загальну задоволеність роботою [3].

Висновки. Впровадження системи з ергономічним дизайном та автоматизованими рутинними завданнями дозволяє не тільки покращити ефективність обробки кадрової інформації, але й дбатиме за самопочуття працівників, надаючи їм час для відпочинку та вирішення стратегічних задач.

Література

1. Васильченко, М. і Василинин, Н. (2024) «СУЧАСНІ КАДРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ОБЛІКУ ПЕРСОНАЛУ ПІДПРИЄМСТВА», *Економіка та суспільство*, (64). doi: 10.32782/2524-0072/2024-64-132. https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4348

2. Visser, C., Shrivastava, R., & Velhinho, P. (2025). Battling digital eye strain: Tips to protect your vision. *AccessibilityChecker.org*. URL: https://www.accessibilitychecker.org/blog/digital-eye-strain/ (дата звернення: 14.03.2026)

3. Vizcarra, A., Quiroz, G., & Cornejo, J. (2026). The Impact of User Interface and Experience (UI/UX) Design on Visual Ergonomics: A Technical Approach for Reducing Human Error in Industrial Settings. *Designs*, 10(1), 8.

IoT-система для управління внутрішніми процесами кінотеатру

Іван Тимчик, Максим Трембовецький
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Застосування концепції Інтернету речей створює передумови для автоматизованого регулювання мікрокліматичних умов та освітлення, надаючи незмінно високий рівень комфорту для відвідувачів.

Матеріали та методи. Дослідження спирається на методики структурного синтезу та архітектурного проєктування інформаційних мереж.

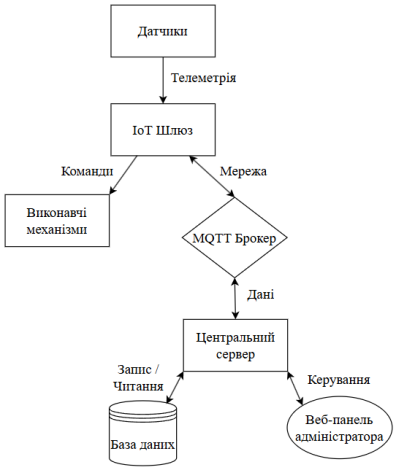


Рисунок 1. Концептуальна модель IoT-системи

На рисунку 1 представлена архітектура моделі, що складається з трьох базових ярусів: периферійного (датчики температури, рівня вуглекислого газу та присутності), комунікаційного (канали передачі) та програмно-аналітичного (серверна інфраструктура, БД, клієнтські додатки). Керуючий алгоритм переводить приміщення у стан «Активний» під час сеансів або «Еко-режим» у періоди простою.

Результати та обговорення. Тестування розробленої моделі підтвердило доцільність неперервного збору метрик для ситуативного управління обладнанням. Важливим критерієм для контролю повітрообміну є рівень насиченості простору вуглекислим газом. Коли приміщення не є повністю завантаженим, концентрація CO_2 збільшується повільніше, даючи системі змогу зменшити оберти вентиляційних агрегатів на 40–60% та мінімізувати марнотратство електроенергії.

У моменти відсутності сеансу кліматичні установки автоматично переходять у стан очікування, розширюючи дозволений діапазон температур. Згідно з виконаними розрахунками, тимчасове блокування роботи компресорів під час технологічних вікон дозволяє заощадити від 15% до 25% загального обсягу споживання HVAC-інфраструктури. Паралельно з цим, встановлення детекторів присутності нівелює помилки персоналу, гарантуючи знеструмлення джерел світла відразу після завершення клінінгових процедур.

Висновки. Розроблена архітектура розумного управління є важливим кроком до енергоефективної трансформації кінотеатрів. Робота датчиків та аналітичних алгоритмів знижує експлуатаційні витрати, без компромісів щодо затишку відвідувачів.

Функціональний підхід до парадигм програмування у сучасних мовах програмування

Андрій Тітов, Олена Андріюк
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. У сучасному програмуванні важливе місце займають різні підходи до створення програмного забезпечення, серед яких особливу роль відіграє функціональний підхід. Він базується на використанні функцій як основних елементів програми та дозволяє створювати більш зрозумілий і структурований код.

Методи досліджень. У роботі було проаналізовано можливості сучасних мов програмування, таких як JavaScript, C# та Java. Використано методи аналізу, порівняння та узагальнення. Розглянуто застосування лямбда-виразів, функцій вищого порядку та методів обробки даних.

Результати і обговорення. Функціональний підхід, далі ФП, передбачає використання функцій без побічних ефектів та роботу з незмінними даними. Це дозволяє зменшити кількість помилок і спростити тестування програм. У JavaScript широко використовуються методи map, filter та reduce. У C# застосовуються лямбда-вирази та LINQ, що дозволяє працювати з даними у декларативному стилі. У Java функціональні можливості реалізуються через лямбда-вирази та функціональні інтерфейси. У традиційному ООП паралелізм складний, бо кілька потоків намагаються одночасно змінити один і той самий об'єкт. У ФП використовується Immutable Data. Коли потік хоче оновити дані, він створює нову версію даних. Оскільки стара версія залишається незмінною, іншим потокам не потрібно чекати або блокувати доступ. Також цікавим є підхід обробки винятків. Замість того, щоб викидати винятки Exceptions або повертати null, функціональний підхід пропонує повертати спеціальний контейнер, тип якого Option/Maybe, використовується, коли значення може бути, а може й не бути. Це змушує здійснювати обов’язкову перевірку, чи є дані, перш ніж їх використати. Після цього тип Result/Either повертає або успішний результат, або об'єкт помилки. Такий підхід перетворює помилки з катастрофи, яка зупиняє програму, на звичайний потік даних. Можна виконувати функції одну за одною, і якщо десь посередині виникне помилка, ланцюжок просто передає цю помилку до самого кінця, не зламавши програму.

Ще однією цікавою стратегією є ліниві обчислення. Це стратегія, при якій вираз обчислюється лише тоді, коли його значення дійсно потрібне для виконання подальшого коду. Це дозволяє значно економити ресурси і створювати абстракції.

Висновок. Функціональний підхід є важливою складовою сучасного програмування. Його використання дозволяє створювати більш надійні, зрозумілі та ефективні програми. Він активно застосовується у сучасних мовах програмування та має перспективи подальшого розвитку. Підхід-тріада з використанням лінивих обчислень, паралелізму і обробці помилок через типи дозволяє створювати системи, які стабільно працюють під великим навантаженням.

Література

1. https://www.geeksforgeeks.org/javascript/functional-programming-in-javascript/
2. https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/language-reference/operators/lambda-expressions
3. https://docs.oracle.com/javase/tutorial/java/javaOO/lambdaexpressions.html.

Класифікація відкритих мовних моделей для наукових досліджень ШІ-систем

Максим Товстенко, Валерій Гавриленко
Національний транспортний університет, Київ, Україна

Вступ. Зараз існує велика кількість веб-сервісів з наданням доступу до великих мовних моделей, які можуть генерувати відповіді на основі наданого довідникового матеріалу. Але розповсюдженими є пропрієтарні моделі, які працюють на хмарному обладнанні. Такі обмеження негативно впливають на дослідження низькобюджетних локальних ШІ-систем. Також це впливає на дослідження суверенних мовних моделей та проблеми прозорості даних. І хоча є компанії, які пропонують свої моделі та системи як відкриті, але при детальному огляді такі моделі та системи не відповідають основним свободам відкритого програмного забезпечення. Такі випадки отримали назву «імітація відкритості» або «open-washing». У зв'язку з цим виникає наукова, інженерна та регуляторна необхідність у чіткій класифікації як самих мовних моделей за рівнем їхньої відкритості. В цій доповіді розглядаються критерії відкритості моделей за стандартами організацій Open Source Initiative (OSI) та Linux Foundation Artificial Intelligence & Data (LF AI & Data).

Матеріали і методи. Дослідження базується на порівняльному аналізі двох ключових фреймворків, що визначають критерії відкритості систем штучного інтелекту: бінарної класифікації OSAID (Open Source AI Definition) від некомерційної організації OSI [1] та багатоступеневої таксономії MOF (Model Openness Framework) від професійного колективу Generative AI Commons за підтримкою LF AI & Data [2]. Застосовано методи узагальнення, системного аналізу та класифікації для визначення впливу прозорості моделей на науковий процес.

Результати. Згідно за бінарною класифікацією OSAID (Таб.1), доцільно розмежовувати «моделі з відкритими вагами» та «моделі з відкритим вихідним кодом». Моделі з відкритими вагами надають доступ переважно до кінцевих ваг та коду інференсу.

Таб.1 – Порівняння термінів з OSAID

Критерій порівняння	Модель з відкритими вагами	Модель з відкритим вихідним кодом
Кінцеві ваги	Опубліковані	Опубліковані
Код інференсу	Опублікований	Опублікований
Код навчання	Зазвичай прихований	Повністю відкритий
Тренувальні дані	Приховані або частково описані	Опубліковані або максимально деталізовані
Регуляторна прозорість	Низька (функціонує як закритий "чорний ящик")	Висока (доступна для повного незалежного аудиту)

При цьому код навчання зазвичай залишається прихованим, а дані для тренування – неопублікованими або описаними лише частково. Через це такі системи мають низьку регуляторну прозорість і функціонують як закритий «чорний ящик». Натомість справжні моделі з відкритим вихідним кодом забезпечують публікацію всього коду (зокрема для навчання) та максимальну деталізацію тренувальних даних, що гарантує високу прозорість і можливість повного незалежного аудиту.

Таб.2 – Порівняння класів моделей за MOF

Клас I – Відкрита Наукова Модель	Клас II – Відкрита Інструментальна Модель	Клас III – Відкрита Модель
- Наукова стаття - Набори даних - Код для попередньої обробки даних - Проміжні параметри моделі - Метадані моделі - Всі компоненти Класу II	- Код для навчання - Код для інференсу - Код для оцінювання - Дані оцінювання - Допоміжні бібліотеки та інструменти - Всі компоненти Класу III	- Архітектура моделі - Параметри моделі - Технічний звіт - Результати оцінювання - Картка моделі - Картка даних - Приклади результатів роботи моделі

Для більш глибокого розуміння архітектури відкритої моделі існує трьох-класова таксономія MOF (Таб.2), яка поділяє моделі залежно від повноти розкриття інформації [2]. Хоча таксономія MOF менш популярна за OSAID (Рис.1), але з часом така класифікація або подібні можуть стати основою для досліджень моделей.

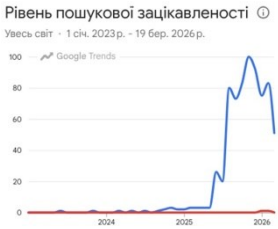


Рис. 1 – Графік тенденції пошуку в Google Search запитів Open Source AI Definition (синя лінія) та Model Openness Framework (червона лінія)

Висновки. Для проведення достовірних, відтворюваних і безпечних наукових досліджень у сфері ШІ недостатньо використовувати моделі лише з відкритими вагами (Клас III за MOF). Науковцям та розробникам слід орієнтуватися на системи з відкритим вихідним кодом (Клас II) та відкриті наукові моделі (Клас I). Використання класифікації MOF дозволяє чітко ідентифікувати реальний рівень прозорості ШІ-моделей, що є критично важливим кроком для розвитку довіри до штучного інтелекту та забезпечення відкритої науки в сфері локальних ШІ-систем.

Література.

1. The Open Source AI Definition - 1.0. *Open Source Initiative*. URL: https://opensource.org/ai/open-source-ai-definition (access date: 19.03.2026).
2. The Model Openness Framework: Promoting Completeness and Openness for Reproducibility, Transparency, and Usability in Artificial Intelligence. https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.13784

Аналіз та проєктування системи автоматизованого моніторингу постави на базі технологій комп'ютерного зору

Харитонов Денис
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Вступ. Метою роботи є проєктування автоматизованої системи моніторингу постави. Завдання полягає в аналізі та виборі оптимальних алгоритмів екстракції координат тіла, їх стабілізації та критеріїв оцінки для роботи системи в реальному часі.

Матеріали і методи. Для екстракції 33 ключових точок тіла в 3D-просторі обрано фреймворк MediaPipe Pose. Для згладжування високочастотного просторового тремтіння координат використано адаптивний фільтр 1€ Filter. Оцінка ергономічності пози базується на обчисленні краніовертебрального кута (CVA) та кута нахилу тулуба за допомогою тригонометричних перетворень векторів.

Результати та обговорення. Розробка систем моніторингу постави стикається з викликами апаратної обмеженості офісних ПК, нестабільності координат веб-камер та необхідності захисту біометричних даних. У ході дослідження проаналізовано ці проблеми та спроєктовано комплексну архітектуру системи, що включає три ключові рівні рішень. 1. Алгоритмічна стабілізація та оптимізація: Проаналізовано продуктивність моделей. Використання моделі MediaPipe Pose рівня складності «Full» визначено як оптимальне, оскільки воно забезпечує баланс між точністю детекції та низькою затримкою на центральному процесорі. Для усунення просторового шуму інтегровано алгоритм 1€ Filter. На відміну від стандартного рухомого середнього, він динамічно адаптує частоту зрізу: на низьких швидкостях мінімізує тремтіння, а на високих — зменшує системну затримку. 2. Клінічно обґрунтовані критерії детекції: Спроєктовано логіку класифікації на основі медичних метрик: Краніовертебральний кут (CVA): нормальна постава фіксується при значеннях CVA > 55°, тоді як зниження кута < 50° класифікується як патологічне положення голови вперед (FHP). Розрахунок точки C7 апроксимується через координати плечових суглобів.

Кут сутулості: розраховується через вектори між вухом, плечем та стегном; значення < 150° ідентифікується як критичне відхилення (Slouching). 3. Безпека даних: Оскільки система аналізує біометричну активність, спроєктовано захищений контур зберігання історії порушень постави за допомогою 256-бітного AES шифрування на базі SQLCipher, що унеможливлює несанкціонований доступ до бази даних.

Висновки. Проведений аналіз дозволив спроєктувати науково обґрунтовану архітектуру програмного комплексу. Інтеграція MediaPipe, фільтрації 1€ Filter та клінічної метрики CVA гарантує високу точність детекції порушень постави без використання GPU-прискорювачів.

Література.

1. Casiez G. et al. 1€ Filter: A Simple Speed-based Low-pass Filter for Noisy Input in Interactive Systems. CHI'12, 2012, 2527-2530.
2. Carrasco-Uribarren A. et al. A Computer Vision-Based Application for the Assessment of Head Posture: A Validation and Reliability Study. Appl. Sci. 2023, 13(6), 3910.

Оптимізація пілотованих міжпланетних перельотів з використанням малої та великої тяги

Леся Харитонова[1], Артем Огарков[1], Дар`я Колосовська[1], Олексій Куценко[2]
[1]Національний транспортний університет, Київ, Україна
[2]Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Вступ. Найбільш актуальними завданнями сучасної космонавтики є автоматизоване дослідження небесних тіл, що відносяться до ближнього космосу [1,2] та здійснення пілотованих експедицій до планет Сонячної системи, насамперед – Марсу [3]. Підвищення ефективності рушійних систем пов'язується, насамперед, з впровадженням нових енергоустановок з ядерним джерелом енергії [1,4] і великими швидкостями витікання, що дозволить суттєво підвищити можливості доставки великих корисних навантажень. Для технічного забезпечення цієї ідеї пропонується використання дворежимних ядерних ракетних двигунів (ЯРД) [1]. При цьому на ділянці великої тяги ядерний реактор використовується як джерело теплової енергії для нагріву робочого тіла із подальшим його прискоренням у соплі, а на ділянці малої тяги – як джерело електричної енергії для живлення двигуна малої тяги [4].

Матеріали і методи. В даній роботі проведено аналіз ефективності комбінування ділянок великої та малої тяги в залежності від часу перельоту на прикладі задачі перельоту Земля-Марс. Припускається, що планети рухаються по компланарних кругових орбітах. При розрахунку траєкторій за основу прийнятий модифікований метод сфер впливу, при цьому планетоцентричний маневр здійснюється виключно за допомогою двигуна великої тяги, а геліоцентричний – за допомогою двигуна малої тяги. Для розрахунку геліоцентричної ділянки траєкторії застосовується метод транспортуючої траєкторії [2].

Результати. За допомогою аналітичних розв'язків задач оптимізації маневрів з великою і малою тягою розроблено простий і ефективний алгоритм оптимізації маневрів з комбінуванням ділянок великої та малої тяги. Застосовуючи цей алгоритм встановлено максимальну тривалість перельоту Земля-Марс, в разі неперевищення якої зазначене комбінування буде оптимальним. Оцінки збігаються з зробленими в роботі [4].

Висновки. Застосування дворежимних ядерних ракетних двигунів є ефективним засобом здійснення пілотованих міжпланетних експедицій. Переваги подібних рушійних систем над класичними рушійними системами великої тяги можуть бути значними, особливо для порівняно короткотривалих маневрів.

Література

1. Borowsky, S. K., Conventional and Bimodal Nuclear Thermal Rocket (NTR) Artificial Gravity Mars Transfer Vehicle Concepts / S. K. Borowski, D. R. McCurdy, T. W. Packard // AIAA SciTech Forum. – 2013. – 46 p.
2. Kharytonov O. M. Finite-thrust optimization of interplanetary transfers of space vehicle with bimodal nuclear thermal propulsion / O. M. Kharytonov, B. M. Kiforenko // Acta Astronautica. – 2011. – Vol. 69.iss. 3. – P. 223 – 233.
3. Taraba M., Zwintz K., Bombardelli C. et al. Project M^3 – a study for manned Mars mission in 2031 // Acta Astonautica, 58 (2006). - P. 88 - 104.
4. Gosse R., Nuclear Wave Rotor Bi-Modal Cycle for In – Space Propulsion / R. Gosse, G. Osborne, H. Mahmood, S. K. Burrows, S. Roy, J. Watson, M. Tonks // AIAA SciTech – c. – 2023. – 30 p.

Розроблення веборієнтованої системи бронювання квитків на потяги

Володимир Хоменко, Михайло Грама
Національний університет харчових технологій

Вступ. Метою роботи є розроблення архітектури та програмна реалізація веборієнтованої системи для автоматизації процесу вибору маршрутів, бронювання та купівлі залізничних квитків із забезпеченням високої швидкодії та відмовостійкості.

Матеріали та методи. У процесі дослідження використано об'єктно-орієнтований аналіз та CASE-засоби проектування. Для програмної реалізації обрано технологічний стек, що включає Node.js (Express) для розробки серверної частини, HTML5, JavaScript та фреймворк Tailwind CSS для створення інтерфейсу користувача, а також СУБД PostgreSQL у середовищі pgAdmin4 для надійного збереження транзакційних даних та забезпечення високого рівня захисту інформації.

Результати та обговорення. Розроблена система функціонує на базі архітектури Single Page Application, що дозволяє підтримувати безперервну взаємодію з користувачем без повного перезавантаження сторінок браузера. Завдяки реалізації у форматі єдиної вебсторінки вдалося забезпечити динамічне оновлення контенту та прискорити загальну взаємодію з інтерфейсом на 30%. У межах роботи з даними особливу увагу приділено оптимізації SQL-запитів у СУБД PostgreSQL, що дозволило досягти стабільного часу відгуку сервера в діапазоні 200–250 мс при одночасному забезпеченні високого рівня захисту персональних даних. Функціональні можливості системи розширені шляхом впровадження асинхронних JavaScript-скриптів для обробки форм бронювання. Це дозволило перенести валідацію даних на сторону клієнта, знизивши кількість некоректних запитів до сервера на 20%. Візуальна частина системи побудована з використанням фреймворку Tailwind CSS, де засоби Flexbox та Grid-розмітки забезпечують чітке відображення схеми вагонів. Такий підхід спрощує взаємодію з інтерфейсом і підвищує рівень довіри користувача завдяки простоті та прозорості елементів керування.

Висновок. Розроблена система на базі Node.js та PostgreSQL забезпечує ефективну автоматизацію процесу бронювання квитків. Використання Tailwind CSS дозволило створити адаптивний інтерфейс із високою швидкістю завантаження, а реалізація у форматі Single Page Application мінімізувала навантаження на сервер за рахунок асинхронної обробки запитів. Система рекомендована для впровадження у локальні сервіси пасажирських перевезень як стабільне та сучасне веборієнтоване рішення.

Особливості обслуговування вантажних автомобілів в умовах невизначеності

Софія Чекмез, Наталія Ліманська
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасне технічне обслуговування вантажних автомобілів стає дедалі складнішим через глобальні економічні кризи, порушення логістичних ланцюгів та нестабільність постачання комплектуючих. Вантажний транспорт є ключовим елементом логістики будь-якого підприємства, а ефективність його роботи безпосередньо впливає на своєчасність доставки вантажів і економічну стабільність компанії.

Матеріали і методи. Матеріалом для досліджень стали стратегічне формування запасів критичних запчастин, диверсифікація постачальників, прогнозування потреб і планове обслуговування вантажних автомобілів.

Результати і обговорення. Останні роки показують, що дефіцит критичних запчастин та перебої у поставках можуть значно ускладнити технічне обслуговування автопарку.

Особливо гострою є проблема браку деталей, таких як електронні блоки управління, датчики систем безпеки, двигуни та трансмісії. Пандемія COVID-19 та дефіцит мікросхем, які використовуються у сучасних автомобілях, продемонстрували, наскільки глобальні кризи можуть впливати на ремонт та обслуговування транспортних засобів. Додатково світові події, наприклад обмеження експорту рідкоземельних елементів з Китаю або геополітичні конфлікти, здорожують поставки та подовжують час доставки критичних компонентів.

У відповідь на такі виклики підприємства активно формують резерв критичних запчастин. Наявність стратегічних запасів дозволяє швидко реагувати на аварійні ситуації, уникати простоїв автопарку та планувати технічне обслуговування більш ефективно. Оптимальний резерв включає деталі, що найчастіше виходять з ладу, а також ті, поставки яких є найбільш непередбачуваними. Сучасні системи управління запасами та прогнозування на основі даних про знос і експлуатаційні цикли дозволяють своєчасно поповнювати запаси та зменшувати витрати.

Диверсифікація постачальників і використання локальних ринків забезпечують гнучкість та знижують залежність від глобальних ланцюгів. Планове технічне обслуговування, профілактичні перевірки та заміна деталей до їх виходу з ладу підвищують надійність автопарку і безпеку перевезень.

Важливим елементом підвищення ефективності обслуговування вантажних автомобілів в умовах невизначеності є використання сучасних інформаційних технологій для управління технічним станом автопарку. Системи моніторингу дозволяють відстежувати пробіг транспортних засобів, аналізувати технічний стан основних вузлів та своєчасно виявляти можливі несправності. Це дає змогу переходити від усунення поломок після їх виникнення до превентивного технічного обслуговування. Такий підхід зменшує ризик раптових відмов техніки та скорочує час простою автомобілів. Крім того, автоматизовані системи управління запасами допомагають контролювати складські залишки та своєчасно формувати замовлення на необхідні запчастини. Це особливо важливо в умовах нестабільності постачання, коли затримки доставки можуть впливати на роботу автопарку. Використання цифрових інструментів у процесі управління обслуговуванням сприяє підвищенню ефективності планування ремонтів та забезпечує більш стабільну експлуатацію вантажних автомобілів.

На наступній схемі (рис. 1) показано основні етапи обслуговування вантажних автомобілів та взаємозв'язок між ризиками і рішеннями.

Рис. 1. Схема процесу обслуговування вантажних автомобілів

Ліва частина схеми виділяє основні проблеми: глобальні кризи, затримки постачання та зростання цін.

Центральна частина відображає процес обслуговування автопарку: постачання запчастин, зберігання на складі / резерв, ремонт та технічне обслуговування, а також експлуатацію автопарку.

Права частина демонструє основні заходи для зниження ризиків: формування резерву критичних запчастин, диверсифікацію постачальників і прогнозування потреб.

Таким чином, особливості обслуговування вантажних автомобілів в умовах невизначеності потребують комплексного підходу, що включає стратегічне формування запасів критичних запчастин, диверсифікацію постачальників, прогнозування потреб за допомогою сучасних інформаційних технологій і планове обслуговування.

Висновки. Такий підхід дозволяє підприємствам підтримувати ефективність логістичних процесів, мінімізувати ризики простою та забезпечувати економічну стабільність навіть у складних умовах глобальної невизначеності.

Література

1. Drugova O.S, Bril` M.S., Zadorozhnyi A.O. (2025), Business management in uncertainty, *Change management and innovation,* Vol. 15, pp. 14-20.
2. Arefieva, O.V., & Poberezhna, Z.M. (2021), Holistic management of enterprise adaptability in cyclical economy conditions, *Economic Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, Vol. 18, pp. 64-70.
3. Bilous, S.P., Trohymenko, A.S., Kaminskyi, V.V. (2024), Strategic management of enterprise development in conditions of crisis and military challenges, Economy and society, Vol. 68.

Інтеграція цифрових технологій у систему Just-in-Time на підприємствах харчової промисловості

Діана Шпаченко, Олена Харкянен
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Підприємства харчової промисловості України працюють у складних умовах: динамічний попит, обмежені терміни зберігання продукції та високі стандарти безпеки створюють значні виклики для традиційних методів управління виробництвом і запасами. Метою дослідження є оцінка впливу впровадження концепції Just-in-Time у поєднанні з цифровими технологіями на ефективність виробничо-логістичних процесів.

Матеріали і методи. Матеріалом дослідження слугували дані виробничо-логістичних процесів харчових підприємств України (2020-2023 рр.), а також результати зарубіжних досліджень впровадження JIT та цифровізації виробництва. Джерела включали статистичні звіти FAO і UNIDO та наукові публікації з ERP/MES/WMS і цифрових технологій у виробництві. Використано порівняльний аналіз, регресійне прогнозування попиту, імітаційне моделювання логістичних потоків та аналіз ключових показників ефективності до і після цифровізації.

Результати і обговорення. Дослідження показало, що інтеграція цифрових технологій у JIT-систему харчових підприємств дозволяє скоротити середній рівень запасів сировини на 30-40 % та знизити витрати на зберігання до 25 %. Використання ERP-систем забезпечує централізоване планування виробництва та закупівель, а MES-системи - контроль процесів у реальному часі. WMS-системи оптимізують рух продукції на складах, скорочуючи час обробки замовлень на 15-20 %.

Методи штучного інтелекту, зокрема регресійний аналіз і нейронні мережі, підвищують точність прогнозування попиту на 12-18 %, дозволяючи синхронізувати виробництво з фактичним споживчим попитом. Кластеризація клієнтських груп і товарів забезпечує гнучкість планування, зменшуючи ризики надлишкових запасів і дефіциту продукції. IoT-технології контролюють температурні режими та стан обладнання, що мінімізує втрати від псування продукції.

Комбіноване застосування наведених цифрових рішень формує адаптивну, прозору та стійку систему JIT, що дозволяє швидко реагувати на коливання ринку, забезпечує стабільну якість продукції та підвищує продуктивність праці на 10-15 %. На практиці це забезпечує оборотність запасів у 1,5-2 рази вище, ніж при традиційному управлінні, та підвищує рентабельність підприємств на 5-8 %.

Висновки. Інтеграція сучасних цифрових технологій у JIT-системи харчових підприємств дозволяє значно оптимізувати запаси, скоротити виробничі цикли та знизити втрати продукції; результати мають практичну цінність для модернізації управління виробництвом до міжнародних стандартів і цифровізації управління.

Література

1. Ali A. A. A., Fayad A. S. S., Alomair A., Al Naim A. S. (2024) The role of digital supply chain on inventory management effectiveness within engineering companies in Jordan, *Sustainability*, 16(18), 8031.
2. Culot G., Podrecca M., Nassimbeni G. (2024) Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review of empirical studies and research directions, *Computers in Industry*, 146, 104132.

Галузева специфіка впровадження IoT у розвиток харчової промисловості

Володимир Хоменко, Інна Ющук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Сучасна архітектура харчової промисловості України перебуває у стані фундаментальної перебудови. Роль головного інструменту цифрової трансформації харчової промисловості відведена концепції Інтернету речей (IoT). Цей технологічний базис забезпечує перехід від локальних автоматизованих систем до інтегрованих інтелектуальних інфраструктур, здатних до автономної обробки даних та прийняття рішень у реальному часі.

Методи досліджень. Дослідження засноване на сучасних наукових підходах впровадження IoT-технологій в харчове виробництво. IoT-системи формують інтелектуальну інфраструктуру, здатну забезпечити ефективне управління ресурсами, автоматизацію виробничих процесів та підвищення економічних показників.

Результати і обговорення. Сьогодні харчова промисловість перебуває на етапі інтенсивної інтеграції «розумних підприємств». Харчове виробництво отримує інструменти превентивного контролю та мінімізації виробничих втрат, що трансформує традиційні заводи у високотехнологічні «Smart Manufacturing». Тому технології Інтернету речей виступають головним інструментом забезпечення якості та безпечності продукції.

Інтеграція інтелектуальних сенсорів у виробничі лінії дозволяє здійснювати безперервний превентивний контроль за критичними параметрами, такими як температурні режими, вологість, тиск та хімічний склад продукції. Використання IoT-рішень у поєднанні з системами машинного навчання дає змогу не лише оперативно виявляти технічні несправності обладнання, а й суттєво знижувати питомі витрати енергії та сировини, що сприяє переходу до гнучкого й ресурсоефективного виробництва.

Завдяки використанню розумних лічильників, аналітичних платформ та мереж датчиків забезпечується прозорий моніторинг виробництва продукції від етапу первинної переробки сировини до логістики готової продукції. Це дозволяє мінімізувати втрати сировини та енергетичних ресурсів, що безпосередньо корелює з цілями продовольчої безпеки. Галузева ефективність IoT також рельєфно проявляється в енергетиці через розгортання мереж «smart grids», що забезпечують оптимізацію розподілу енергетичних навантажень.

Автоматизація контролю якості на базі IoT-сенсорів підвищує загальний рівень безпеки праці та дозволяє створювати цифрові моделі управління, що здатні адаптуватися до змінних умов ринку в реальному часі.

Висновок. Застосування IoT-технології формують інтелектуальну інфраструктуру харчового виробництва, яка регулює раціональне використання сировини, мінеральних, енергетичних і водних ресурсів, створюючи при цьому високу конкурентоспроможність підприємства на ринку.

Література

A.H. Bagdadee, L. Zhang, M. Saddam Hossain Remus. (2020) A brief review of the IoT-based energy management system in the smart industry. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol.1056, pp.443-459. DOI:10.1007/978-981-15-0199-9_38

Роль технологій Інтернету речей у цифровій трансформації сучасного суспільства

Ілля Терещенко, Інна Ющук
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Проведено дослідження з метою визначення концепції Інтернету речей (Internet of Things, IoT) як базової технологічної платформи для інтеграції фізичного та віртуального світів.

Матеріали і методи. Матеріалом для досліджень став аналіз сучасних наукових джерел і практичних розробок у сфері Інтернету речей.

Результати і обговорення. За своєю суттю IoT є розгалуженою мережею інтелектуальних пристроїв, здатних до автономної взаємодії та обміну даними без безпосередньої участі людини. Взаємодія сенсорних технологій, хмарних обчислень та методів обробки великих даних (Big Data) дозволяє створювати адаптивні системи управління.

Технологія Інтернету речей забезпечує інтеграцію мільярдів інтелектуальних пристроїв у єдину глобальну інформаційну екосистему. Завдяки поєднанню сенсорних мереж, хмарних обчислень та алгоритмів штучного інтелекту формуються високоефективні системи управління, які знаходять широке застосування у промисловості, енергетиці, аграрному секторі та розбудові «розумних міст». Впровадження IoT-систем сприяє автоматизації виробничих процесів, раціональному використанню природних ресурсів та оптимізації енергоспоживання.

Стрімке поширення IoT-пристроїв спричиняє комплекс глобальних ризиків техногенного та безпекового характеру. Кардинальними стають питання екологічного навантаження. Це питання, пов’язані з накопиченням електронних відходів, низьким рівнем їх переробки та дефіцитом рідкісноземельних металів, необхідних для виробництва елементів мікроелектроніки. Прогнозована кількість підключених IoT-засобів до 2030 року понад 125 мільярдів одиниць, загострює проблему накопичення електронних відходів. Оскільки на сьогодні лише 20% такого сміття підлягає належній переробці. Енергетичні витрати на підтримку функціонування такої масштабної інфраструктури вимагають пошуку нових енергоефективних рішень.

Поряд із екологічними аспектами, важливим завданням залишається гарантія кібербезпеки та конфіденційності даних. Масштабність мережі збільшує поверхню потенційних кібератак, що робить питання захисту даних та розробки децентралізованих моделей зберігання інформації пріоритетом для спільноти. Вразливість критичної інфраструктури до несанкціонованого доступу вимагає розробки нових протоколів автентифікації, етичних стандартів та протоколів використання інформації.

Висновки. Успіх цифрової трансформації на базі IoT залежить від здатності людства збалансувати технологічний прогрес із вимогами кібербезпеки та принципами сталого розвитку.

Література

Statista (2025) База встановлених пристроїв, підключених до Інтернету речей (IoT), у всьому світі з 2015 по 2025 рік. [Онлайн] Доступно на: https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/

Забезпечення стабільності безвідмовного стану обладнання молокопереробного виробництва

Катерина Чорнобай, Сергій Грибков

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Актуальність дослідження обумовлена вимогою постійного дотримання технологічного обладнання молокопереробних підприємств в працездатному стані для запобігання незапланованих зупинок виробництва, зниження якості готової продукції та збільшення експлуатаційних витрат. В умовах воєнного стану та економічної нестабільності в Україні, забезпечення безперебійної роботи критичного обладнання набуває особливого значення. Традиційні системи планово-попереджувального обслуговування не завжди дозволяють своєчасно виявляти можливі поломки та вихід обладнання з ладу. Враховуючі це, ремонтно-профілактичні роботи можуть вимагати матеріально-технічних та людських ресурсів, а також можуть призвести до зриву виконання плану виготовлення продукції.

Матеріали і методи. Проаналізовано наукові роботи вітчизняних та зарубіжних науковців присвячених підвищенню ефективності управління технічним обслуговуванням технологічного обладнання виробничих підприємств за рахунок визначення та прогнозування технічних параметрів їх вузлів.

Результати та обговорення. Для підвищення чутливості до ранніх стадій деградації доцільним є розширення цього набору за рахунок спектральних, акустичних та енергетичних характеристик, а також параметрів режимів експлуатації. Комплексний моніторинг і прогнозування зазначених параметрів на основі багатовимірного аналізу даних дозволяє не лише оцінювати відмовостійкість окремих вузлів, але й формувати інтегральні індикатори технічного стану системи. Що, у свою чергу, створює підґрунтя для побудови математичних моделей прогнозування, орієнтованих на оцінювання середнього часу до відмови та залишкового ресурсу із урахуванням стохастичної природи деградаційних процесів.

Для підвищення точності моделювання нелінійних процесів деградації обладнання доцільно застосовувати комплекс алгоритмів машинного навчання, диференційованих за типами задач. Зокрема, методи класифікації, такі як Random Forest та Support Vector Machine, ефективні для ідентифікації технічних станів і виявлення дефектів, тоді як рекурентні нейронні мережі (LSTM) забезпечують адекватне моделювання часової динаміки деградаційних процесів. Згорткові нейронні мережі (CNN) доцільно використовувати для автоматизованого виділення інформативних ознак із сирих сигналів, що дозволяє підвищити якість подальшого прогнозування. Комбіноване застосування зазначених підходів у вигляді гібридних моделей забезпечує більш точне відтворення складних нелінійних залежностей та підвищує достовірність прогнозу відмов. Використання таких моделей створює основу для оптимізації процесів технічного обслуговування на базі прогнозної аналітики, зокрема через оцінювання ймовірності відмов та залишкового ресурсу обладнання.

Перспективним напрямом є розроблення цифрових двійників, які синхронізуються з реальними об’єктами через сенсорні мережі та забезпечують можливість проведення чисельних експериментів і сценарного моделювання, впроваджуються у промисловості провідними компаніями, зокрема Siemens, ABB та General Electric, що підтверджує їх практичну ефективність.

Висновки. Розглянуті методи та їх інтеграція у складі інтелектуальних систем аналізу експлуатаційних даних дозволяють суттєво підвищити ефективність управління технічним обслуговуванням.

Інформаційно-аналітичні системи планування виготовлення продукції

Софія Яненко, Сергій Грибков
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. В умовах динамічного ринку та високої конкуренції ефективність виробничого підприємства безпосередньо залежить від точності й оперативності планування виготовлення продукції. Інформаційно-аналітичні системи є ключовим інструментом цифрової трансформації виробництва, оскільки забезпечують інтеграцію даних та підтримку управлінських рішень у реальному часі.

Матеріали та методи. Дослідження ґрунтується на системному аналізі виробничих бізнес-процесів та принципах MRP II і ERP-систем. Під час проєктування системи враховано сучасні підходи до зберігання даних та аналітичної обробки.

Результати і обговорення. Інформаційно-аналітичні системи планування виготовлення продукції є комплексним програмним рішенням, що автоматизує повний цикл «замовлення – ресурс – план – контроль». Така система об'єднує дані про замовлення клієнтів, наявні ресурси, стан обладнання та персоналу в єдиний інформаційний простір, що суттєво підвищує якість управлінських рішень.

Календарне планування дозволяє формувати виробничий графік, починаючи від поточної дати, та дозволить визначити найраніший можливий термін завершення виготовлення продукції. Зворотне планування виконується від заданої дати відвантаження замовнику назад до моменту запуску у виробництво. Метод пріоритетів передбачає автоматичне ранжування замовлень за визначеними критеріями, такими як терміновість, важливість клієнта або маржинальність продукції (маржинальність зазвичай вимірюється у відсотках і показує, яку частку в загальному доході становить прибуток). У разі обмежених ресурсів система насамперед планує виконання найбільш пріоритетних замовлень, забезпечуючи раціональний розподіл виробничих потужностей Важливою функціональною можливістю системи має бути управління залишками матеріалів. На основі специфікації виробу система автоматично визначає потребу в сировині та перевіряє її наявність на складі..

Система також має підтримувати динамічне перепланування виробництва. У разі виникнення позаштатних ситуацій, таких як вихід з ладу обладнання або затримка постачання компонентів, користувач може ініціювати автоматичний перерахунок виробничого плану. При цьому система пропонує альтернативні варіанти розподілу навантаження, що дозволяє мінімізувати вплив збоїв на загальні терміни виконання замовлень. Для підвищення наочності управління необхідна візуалізація виробничих планів у вигляді діаграм Ганта. Диспетчер у реальному часі бачить завантаженість кожної виробничої лінії та може оперативно виявляти «вузькі місця» у виробничому процесі. Подальший розвиток інформаційно-аналітичних систем планування пов'язаний із впровадженням методів штучного інтелекту для прогнозування попиту та автоматичної оптимізації виробничих маршрутів.

Висновки. Розроблення інформаційно-аналітичної системи планування виготовлення продукції є необхідною умовою переходу підприємств до концепції «Індустрія 4.0». Поєднання гнучких алгоритмів планування, аналітичної підтримки та зручного інтерфейсу користувача дозволяє не лише автоматизувати рутинні операції, а й сформувати стійкі конкурентні переваги.

Програмна система оптимізації витрат на медикаменти: UI/UX рішення та функціонал

Микола Яремов
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Вступ. Метою роботи є розробка та оцінка ефективності спеціалізованого UI/UX інтерфейсу системи пошуку медикаментів і дієтичних добавок, адаптованого для геронтологічної групи та осіб з порушеннями зору, для оптимізації фінансових витрат та часу цільової дії.

Матеріали та методи. Оцінка юзабіліті прототипу здійснювалася методами A/B тестування та моделлю GOMS за участю фокус-групи (n=30, вік 60+). Застосовано метрики інклюзивного дизайну (WCAG 2.1) та алгоритми геопросторової фільтрації (API OpenStreetMap) для ранжування аптек за показниками відстані (km) та вартості. Також використано технологію Eye-tracking для аналізу когнітивного навантаження.

Результати та обговорення. Впровадження адаптивних патернів (шрифт >16pt, контрастність >7:1, підтримка Screen Reader) зменшило середній час виконання транзакції «пошук-вибір-маршрут» з 214 s у standardних застосунках до 86 s у розробленій системі. Згідно з законом Фіттса (Fitts's Law), мінімальний розмір інтерактивних елементів було збільшено до 48x48 dp, що знизило частоту хибних натискань (miss-clicks) на 55 %. Алгоритм багатокритеріального ранжування, де ваговий коефіцієнт ціни становить 0.6, а відстані – 0.4, дозволив фокус-групі знизити середній чек на 18 % порівняно з неоптимізованим пошуком. Для дієтичних добавок та вітамінних комплексів розроблено окремий модуль фільтрації за діючою речовиною, що дозволяє знаходити дешевші аналоги з економією до 35 %. Застосування алгоритму Левенштейна (Levenshtein distance) для корекції друкарських помилок при пошуку підвищило точність видачі релевантних результатів на 32 %. Враховуючи зниження дрібної моторики у користувачів геронтологічної групи, інтегровано модуль голосового пошуку (Voice-to-Text). Тестування показало, що 68 % респондентів надали перевагу голосовому введенню, що зменшило кількість помилок на 74 % порівняно з клавіатурним. Аналіз теплових карт кліків (Heatmaps) зафіксував концентрацію уваги (82 %) на укрупнених елементах нижньої навігаційної панелі. Це емпірично підтверджує раціональність відмови від прихованих меню для цільової аудиторії. Оптимальний радіус пошуку, за якого логістичні витрати не перевищують економію на різниці вартості препаратів, визначено на рівні 1.5 km для пішохідної доступності.

Висновки. Наукова новизна полягає в емпіричному обґрунтуванні синергетичного ефекту від інтеграції алгоритмів геоцінового ранжування, голосового вводу та патернів інклюзивного UI/UX. Рекомендовано застосування метрик розробленого прототипу в системах e-Health.

Література

1. Ramineni V., Ingole B. S., Pulipeta N. K. Advancing Digital Accessibility in Digital Pharmacy, Healthcare, and Wearable Devices: Inclusive Solutions for Enhanced Patient Engagement. *ResearchGate*, 2025.
2. Enhancing User Experience through Optimization Design Method for Elderly Medication Reminder Mobile Applications: A QFD-Based Research Approach. *Electronics*, 2023. Vol. 12(13). P. 2860.
3. Development and evaluation of online medication support tools for older people: a systematic review. *ResearchGate*, 2025.

Наукове видання

92-а Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів

"Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті"

20–24 квітня 2026 р.

Частина 2

Національний університет харчових технологій
01601 Київ-33, вул. Володимирська, 68
Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.04 р.