

О. А. ПІВОВАРОВ, д-р техн. наук, проф.

В. С. КОШУЛЬКО, канд. техн. наук, доц.

ЗАСТОСУВАННЯ ІНЖИНІРИНГУ В ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ

Резюме. Стаття присвячена аналізу міжнародного досвіду застосування в промисловій практиці інжинірингу, його меті та ефективності в зростаючому інженерному, технологічному, екологічному і економічному просторі аграрного комплексу, а також харчових виробництв. Практика показує, що особливості інжинірингу в харчовій промисловості стимулюють виробництво: якість кінцевої продукції зростає відповідно до попиту на неї, раціонально витрачається вихідна сировина, підвищується рівень екологічності, що виводить виробництво на рівень міжнародних стандартів, які мають на меті збереження ресурсної бази та ощадне використання сировини, поліпшення екологічного стану за рахунок використання новітніх технологій фізико-хімічного та біологічного спрямування із залученням найсучасніших цифрових засобів. Підвищується рейтинг харчових виробництв, а також довіра споживачів до сучасної харчової продукції. Зростає роль виробництв, які займаються переробкою відходів сільськогосподарського виробництва, що продемонстровано на прикладі виробництва біоводню за допомогою темного бродіння. Увагу приділено заміникам тваринної продукції на таку, що застосовує сировину рослинного походження. Усі заходи інжинірингу сприяють переходу харчових продуктивних виробництв на новий технологічний рівень, як того потребує час і зростаюче суспільство.

Ключові слова: інженерія, харчова наука, їжа, штучний інтелект, аграрний сектор, цифровізація, агро-продовольчі системи, продовольча безпека.

ВСТУП

Продовольчі технології покладаються на інженерні принципи, щоб забезпечити безпечне, ефективне та стійке виробництво продуктів харчування [1]. Головні особливості передбачають розроблення обладнання для переробки, оптимізацію виробничих ліній, підвищення безпеки харчових продуктів і розроблення інноваційної упаковки. Окрім того, інженерія харчових продуктів відіграє життєво важливу роль у таких сферах, як збереження їжі, зменшення відходів і забезпечення харчової цінності та якості харчових продуктів.

Харчова інженерія — це поєднання харчової науки, харчової технології та прикладної математики [2]. Її можна використовувати для поліпшення якості харчових продуктів, а також для контролю забруднення, яке може виникнути у вироблених харчових продуктах. Інженери, фахівці, які працюють у харчовій промисловості, співпрацюють з іншими інженерами для розроблення процесів виробництва харчових продуктів і забезпечення дотримання ними правил безпеки. Вони також використовують знання принципів харчової інженерії для розроблення способів підвищення якості вже вироблених продуктів, зокрема контроль харчової цінності чи збільшення термінів придатності. Харчова наука та харчові технології є взаємодоповнювальними галузями, важливими для харчової промисло-

вості та ширшої продовольчої системи. Харчова наука надає фундаментальні знання про властивості та поведінку харчових продуктів, тоді як харчові технології перетворюють ці знання на практичне застосування для виробництва, пакування, зберігання та розповсюдження харчових продуктів. Разом вони прагнуть забезпечити, щоб їжа була смачною, безпечною, здоровою, поживною, стабільною та екологічно чистою.

Харчова інженерія — це прикладна наукова дисципліна, що займається вивченням і розробленням процесів для підвищення якості та безпеки виробництва харчових продуктів. Вона охоплює проектування схем виробництва, підтримку санітарних стандартів і проведення досліджень властивостей харчових матеріалів. Цей комплекс також передбачає розроблення рецептів, аналіз виробничих витрат і потреб у енергії, покращення харчової хімії, проектування обладнання для переробки чи пакування харчових продуктів, а також стратегічний розподіл ресурсів. Їжа — це набагато більше, ніж просто фізична речовина. Приготування їжі, її збереження та розподіл, усе разом впливає на її якість. Раціон кожної людини сприяє її власному здоров'ю, а також здоров'ю оточуючих, що пояснює особливий інтерес до цієї теми [3].

Харчова промисловість змінюється, адже змінюється й суспільство. За останні 20 років суспільство кардинально змінило свої вподобання,

вимагаючи вищої якості та більшої прозорості у своїх продуктах харчування. Ця зміна стимулювала зростання попиту на органічні продукти та перехід від тваринних білків до рослинних [4]. Харчові компанії мають зосередитися на забезпеченні досвіду, що відповідає їхнім моральним принципам, оскільки саме це спонукатиме споживачів повертатися до відповідного ринку харчових продуктів [5].

Наразі триває один із найдивовижніших періодів історії людства. Тривалість життя зростає, а виробництво продуктів харчування стало ефективнішим, ніж будь-коли раніше. Це сприяло збільшенню доступності продуктів харчування в усьому світі, підвищенню їхньої якості і визначенню пріоритетом глобальної продовольчої безпеки. Кількість людей, що живуть на Землі, зростає з 7,7 млрд у 2019 р. до 9,7 млрд у 2050 році. Індія зазнає демографічного зростання на 18,76 % протягом цього періоду. Її населення зростає на 259 млн і перевищить населення Китаю. Очікується, що населення країн Африки на південь від Сахари подвоїться протягом півстоліття. Нігерія стане третьою за чисельністю населення країною у світі з 401 млн жителів [6].

Першим кроком до продовольчої безпеки є скорочення відходів і втрат продовольства. Згідно з даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО), щорічно в харчовому ланцюзі від виробництва до роздрібною торгівлі та споживачами втрачається/викидається приблизно 1,3 млрд т продовольства, що свідчить про важливість циркулярної економіки та освіти споживачів [7].

Важливо подолати економічні бар'єри, щоб надати сталий доступ до здоровішої та їжі споживачам із низьким рівнем доходу. Це складно, але можливо за рахунок інновацій та інженерії у харчовій промисловості [8]. Однак одного скорочення відходів і подолання економічних бар'єрів недостатньо для досягнення глобальної продовольчої безпеки. Щоб прогнати населення світу до 2050 р., виробництво продуктів харчування має зрости на 70 % [9]. Окрім того, раціони харчування мають змінитися та менше покладатися на продукти тваринного походження, включаючи більше продуктів на основі рослин, комах і мікроводоростей [10]. Ця зміна необхідна, оскільки продукти тваринного походження є менш сталими через значні витрати природних ресурсів, що призводить до деградації навколишнього середовища. На жаль, зміна практик виробництва та споживання продуктів харчування не є простим процесом. Він має бути ефективним, сталим та економічно доцільним. Нові харчові продукти мають бути

поживно адекватними, культурно та соціально прийнятними, економічно доступними, а також смачними. Окрім того, вони повинні бути спрямовані на підтримку чи поліпшення здоров'я споживачів. Харчова наука та технології можуть допомогти розв'язати ці проблеми шляхом удосконалення процесів виробництва продуктів харчування, включаючи нові інгредієнти з більш стійких джерел, а також розроблення нових харчових продуктів, що отримали широке визнання.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

З часом харчова промисловість еволюціонувала від зосередження на зниженні ваги до зосередження на сталому розвитку та харчуванні. Зміни були зумовлені змінами в суспільстві, яке вимагає більш поживних та екологічно чистих харчових продуктів. Майбутнє харчової інженерії ставатиме дедалі важливішим, оскільки воно впливає на якість життя людей.

Однак існує чимало проблем, які необхідно подолати. Наприклад, потрібно знайти способи зробити їжу більш здоровою, при цьому не впливаючи на смакові якості. Наразі відомо та запроваджено багато варіантів, з-поміж яких розробка альтернатив м'ясу або пошук нових способів консервування фруктів та овочів. Людям з алергією чи аутоімунними захворюваннями дуже важко насолоджуватися тими ж продуктами, що й більшості людей, не турбуючись про те, що може статися, якщо вони їх споживатимуть, тому важливо, щоб вони не відчували, що втрачають усі радості життя. Це означає, що інженери-харчовики відіграватимуть значну роль у гарантуванні безпеки та здоров'я всіх продуктів харчування.

Нині харчова промисловість стикається з проблемами, пов'язаними зі сприйняттям громадськістю генетично модифікованих організмів (ГМО) [11], що входять до складу харчових продуктів. На жаль це проблематично, оскільки думки людей розділилися нерівномірно. Одні вважають, що ГМО шкідливі для здоров'я людини та суспільства загалом; інші вважають, що ГМО нешкідливі. Окрім занепокоєння щодо ГМО, населення стурбоване якістю продуктів харчування та їхнім впливом на життя людей. Наприклад, зараз чимало людей мають підвищену обізнаність про те, як харчовий раціон впливає на їхній психічний стан або загальний настрій. Ще одне занепокоєння людей — це харчова хімія [12], адже побутує думка, що деякі хвороби виникають через нові генетично модифіковані продукти.

Технології, які є важливими для майбутньої харчової промисловості, — це ті, які гарантують, що харчова промисловість здатна виробляти

достатньо їжі, щоб прогодувати зростаюче населення. Ключовими тенденціями в цій галузі є точне землеробство, синтетична біологія та адитивне виробництво. Технології лише вдосконалюватимуться, а їхній вплив на харчову промисловість лише зростатиме з часом. Оскільки вони продовжують змінювати спосіб нашого життя, разом із ними з'являються нові інновації в харчовій інженерії [13].

Метою пропонованої статті є визначення ролі інжинірингу в аграрному секторі, особливостей його застосування в харчовому виробництві.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Те, що десять років тому здавалося науковою фантастикою, нині стає мейнстримом. У сучасних інформаційних умовах є можливим дослідити деякі з цих нових технологій, які можуть потенційно змінити світову харчову промисловість найближчим часом.

Так, нині штучний інтелект (ШІ) змінює харчову промисловість. Нові технології дають змогу фермерам виробляти більше продуктів харчування, використовуючи менше землі та праці. ШІ може допомогти оптимізувати виробництво сільськогосподарських культур для максимізації врожайності, що надасть можливість вирощувати достатньо їжі для населення світу [14].

Упродовж останніх декількох років завдяки харчовим технологіям у виробництві сільськогосподарських культур відбулося чимало досягнень. Ці досягнення збільшили попит на генетично модифіковані культури як спосіб забезпечення безпечними та поживними продуктами харчування [15].

Методи, що використовуються для виробництва цих генетично модифікованих культур, наразі проходять стадію досліджень та розробок. Вони включають CRISPR-Cas9, що використовується для оптимізації форми та розміру культур відповідно до вподобань споживачів. Це один із найпопулярніших методів генетичної модифікації сьогодні [16].

Існує три головні чинники, які варто контролювати, щоб мати процес контролю якості:

1) вхідні параметри процесу — чинники, що впливають на процеси;

2) параметри процесу — швидкість, кількість продукту, витрати часу, який потрібен для цього тощо;

3) результат процесу — інформація про кінцевий продукт. У цьому випадку безумовно стосується їжі.

Для контролю якості харчових продуктів визначені три чинники необхідно постійно переви-

ряти. Якість їжі характеризується тим, наскільки якісно вона була вироблена, оброблена, транспортована та збережена. Безпека їжі, визначається контролем забруднення на кожному технологічному етапі. Приклади характеристик якості харчових продуктів:

- зовнішні фактори, наприклад, зовнішній вигляд (розмір, колір, форма та консистенція);
- текстура;
- смак (запах і смак);
- правильне маркування із зазначенням інгредієнтів, інформації про харчову цінність і даних постачальника або виробника;
- продукти мають бути належним чином заповані та герметично запечатані;
- мають дотримуватися стандарти інгредієнтів;
- якість харчових продуктів також варто простежувати до моменту, коли виникне потреба в їх відкритті.

Щоб гарантувати безпеку споживання харчових продуктів, важливо мати систему, яку можуть контролювати регуляторні органи. Це гарантуватиме, що компанії та їхні постачальники будуть дотримуватися стандартів безпечного виробництва та відповідних вимог до обробки. Такий підхід також забезпечує дотримання стандартів маркування та маркетингу, що підтримує цілісність торговельних угод щодо харчових продуктів у міждержавній торгівлі. Ці вимоги викладені у Федеральному законі про модернізацію безпеки харчових продуктів (FSMA, США), який визначає ризикоорієнтований підхід до управління програмами на всіх рівнях ланцюга постачання.

Інжиніринг продовольчої системи стосується процесу проектування, будівництва, експлуатації та обслуговування систем виробництва і розподілу харчових продуктів. Продовольча система — це велика та складна мережа інституцій, політик і відносин, які впливають на здоров'я людини, навколишнє середовище та економічний розвиток. Відповідальна роль інженерії в продовольчій системі полягає в тому, щоб допомогти гарантувати безпеку, поживність та екологічну стійкість продуктів харчування, які виробляються. Інженери завжди відігравали значну роль у світі харчових продуктів, але лише в останні десятиліття їхній внесок став справді помітним. Збільшення доступності та різноманіття інгредієнтів у поєднанні з новими технологіями та методами сприяло більшій креативності та інноваціям.

Оскільки світ стає дедалі складнішим, то складнішою стає і продовольча система. Вона складається з багатьох різних частин: від

фермерів, які вирощують їжу, до підприємств, які її переробляють, і магазинів, які її продають. Це складна система, що для належного функціонування залежить від багатьох чинників (наприклад, погода, ціни і споживчий попит). Проектування продовольчої системи може бути відповідальною роллю [17]. Такі умови можуть допомогти гарантувати безпеку та здоров'я їжі, а також зменшити вплив на навколишнє середовище. Водночас важливо усвідомлювати труднощі, які може створити проектування продовольчої системи. Одна з проблем полягає в тому, що продовольча система є складною та постійно змінюється [18]. Інженери мають вміння швидко адаптуватися, щоб встигати за змінами на ринку. Інша проблема полягає в тому, що продовольча система значно забруднює довкілля [19]. Інженери повинні вміння знаходити способи зменшення кількості забруднення, яке виробляє продовольча система. Саме тут важливу роль відіграє відстеження інформації. За допомогою платформи World Food Tracker можна дізнатися не лише про вміст поживних речовин у раціоні, а й про потенційні відходи. Зрештою, інженери мають вміння думати про майбутнє. Вони повинні вміння думати про те, як продовольча система змінюватиметься з часом і який вплив це матиме на економіку та суспільство загалом.

Харчова промисловість, як важливий рушій світової економіки, охоплює різноманітні сектори, від сільського господарства до громадського харчування, і наразі зазнає трансформаційних змін, що підживлюються інженерними інноваціями, зміною вподобань споживачів та нормативними вимогами. Провідні досягнення в харчових технологіях, такі як точне землеробство, інтелектуальне пакування, та провідні методи переробки харчових продуктів, такі як обробка під високим тиском та 3D-друк харчових продуктів, революціонізують ефективність та сталий розвиток. Новітні інновації зменшують кількість відходів, покращують безпеку харчових продуктів і покращують простежуваність по всьому ланцюжку поставок. Водночас попит споживачів на більш здорові, стійкі та етично вироблені продукти змінює асортимент харчової продукції. Нові тенденції охоплюють функціональні продукти харчування, чисте етикетування, рослинні дієти, персоналізоване харчування та продукти без алергенів, що відображає зосередженість на здоров'ї та благополуччі. Сталий розвиток залишається критичним пріоритетом, з акцентом на екологічно чисті методи ведення сільського господарства, скорочення харчових відходів та біорозкладні або перероблювані пакувальні рішення. Такі цифрові технології, як

інтернет речей, блокчейн, ШІ і робототехніка, підвищують операційну ефективність та прозорість. Інтелектуальне пакування харчових продуктів із вбудованими датчиками для контролю свіжості та якості ще більше зміцнює довіру споживачів та ефективність ланцюга поставок. Провідні досягнення дають харчовій переробній промисловості змогу розв'язувати глобальні проблеми, забезпечуючи продовольчу безпеку, безпечність і сталий розвиток, водночас адаптуючись до динамічних вимог ринку.

Застосування інженерії в продовольчих системах має переваги. До них належать:

- проектування обладнання для переробки харчових продуктів відповідно до стандартів;
- обробка та виробництво продуктів харчування на вагу;
- швидкість та ефективне використання виробничого часу;
- безпека та економія праці;
- гігієнічне виробництво шляхом зменшення біологічних і людських контактів;
- ефективне транспортування сільськогосподарської продукції в межах та за межами виробничих приміщень;
- ефективне зберігання харчових продуктів;
- ефективна утилізація та управління відходами;
- ефективне очищення виробничих приміщень і обладнання та санітарія;
- гнучкість функціонування.

Той факт, що багато людей залежать від оброблених харчових продуктів, створив мільйони робочих місць у різних харчових галузях промисловості. Застосування новітніх технологій, що базуються виключно на наукових та інженерних принципах, зростає. Деякі з нових технологій перелічені нижче:

- височастотне імпульсне електричне поле;
- високий гідростатичний тиск;
- криогенне охолодження;
- омичне нагрівання;
- мікрохвильове нагрівання;
- ультразвукові процеси;
- інфрачервоне нагрівання;
- ультрафіолетова дезінфекція;
- радіоактивне випромінювання;
- нанотехнології;
- холодна плазма тощо.

Для боротьби з проблемами безпеки харчових продуктів були впроваджені різні стратегії, зокрема охолодження, зниження відносної вологості, заморожування, пастеризація, стерилізація, підкислення, сушіння, антимікробні засоби та ферментація. Попри такі новітні заходи, деякі з цих винаходів негативно впливають

переважно на якість, колір, текстуру, смак і поживні речовини харчових продуктів. Окрім того, забруднення харчових продуктів і мікробна деградація є суттєвими проблемами, які досі потребують належного розв'язання [20].

Мікрохвильове та радіаційне випромінювання, криогенне впорскування повітря, омичний нагрів, опромінення, а також інші інноваційні методи переробки харчових продуктів можуть бути використані для підвищення цінності та стабільності зберігання різних харчових продуктів. Потреба в безпечних методах виробництва та переробки харчових продуктів стала набагато більш критичною в результаті зростання населення протягом останніх декількох десятиліть, а також вимог, що виникають внаслідок індустріалізації промисловості. З іншого боку, зміни в атмосфері та стані здоров'я населення продемонстрували крихкий баланс між сталими методами виробництва харчових продуктів, збалансованим навколишнім середовищем, а також здоровим суспільством [21].

Для підтримки глобальної соціально-економічної стійкості необхідні достатні запаси безпечних і поживних продуктів харчування. Останнім часом споживачі віддають перевагу органічним продуктам, оскільки вони мають кращий смак, не містять добавок і відзначаються тривалішим терміном зберігання. Нанотехнології, консервування на основі озону, омичний нагрів, імпульсні та високовольтні технології, технологія ультрафіолетового (УФ) випромінювання та радіочастотна технологія — усе це приклади сучасних “зелених” технологій, що використовуються в харчовій промисловості для підвищення безпеки харчових продуктів.

Здорова, приваблива, стійка та масштабована продовольча система має вирішальне значення для “зеленого” переходу та вимагає сприяння цифровій трансформації. Сталі агропродовольчі системи передбачають широкомасштабну координацію сільськогосподарських операцій та процесів ланцюга створення вартості, використання ресурсів і продовольчих ланцюгів. Вони вимагають масштабного застосування цифрових пристроїв та інфраструктурних технологій для забезпечення обміну даними і цифровою інформацією [22]. Цифровізація розвивається двома основними шляхами: як додатковий фактор підвищення ефективності виробництва та показників сталості, моніторингу політики тощо і як фактор радикальних інновацій та системних змін, нових переробних процесів, нових бізнес-моделей, як чинник, що революційно змінює ідентичність фермера, сільськогосподарську роботу, навички

фермерів, власність, конфіденційність та етику. Цифрові технології визначаються як електронні інструменти, системи, пристрої та ресурси, здатні генерувати, зберігати чи обробляти дані [23; 24]. Вони включають такі фізичні пристрої, як роботи (апаратне забезпечення), елементи автоматичного регулювання, комп'ютерні програми для взаємодії з ними (програмне забезпечення) та шляхи зв'язку між виробничими точками (мережі). Загалом цифрові технології використовуються для підвищення ефективності систем. Ця ефективність досягається завдяки оптимізованому зв'язку програмного забезпечення через комунікаційні мережі, підключені до різних апаратних технологій. Підвищення ефективності системи обіцяє досягнення різних соціальних, екологічних та економічних цілей, з-поміж яких збільшення врожайності, покращення харчування, більша прозорість та відстеження, покращення добробуту тварин та зменшення впливу на навколишнє середовище. Отже, можна виділити перелік цифрових технологій, які нині чинять найбільший вплив на агропродовольчу систему [25]:

— *штучний інтелект* (ШІ) стосується здатності машин отримувати знання та приймати обґрунтовані рішення шляхом обробки даних. У переробці агрохарчової продукції він використовується для автоматизації таких завдань, як сортування, класифікація та пакування, а також з метою прогнозування врожайності та виявлення ризиків для безпеки харчових продуктів. Завдяки зменшенню забруднення харчових продуктів ШІ покращує продовольчу безпеку, зменшує бідність та мінімізує голод;

— *інтернет речей* (IoT) — це інтегрована мережа датчиків і виконавчих механізмів у фізичних об'єктах, що об'єднуються через дротові та бездротові мережі. Вони забезпечують джерела даних, які можна використовувати для відстеження використання води, складу ґрунту, продуктивності праці та здоров'я тварин. Одним із головних застосувань IoT є моніторинг температури, вологості та кольору овочів в ланцюжку постачання на етапі вирощування, а також точне застосування пестицидів і води для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур і вмісту поживних речовин. Поточні проблеми IoT стосуються сумісності даних і вимоги до навчання кінцевих користувачів для розуміння та застосування технологій;

— *блокчейн* — це прозорий цифровий реєстр, який реєструє транзакції та зберігає дані безпечним і децентралізованим способом. Ранні користувачі використовують цю технологію для відстеження руху товарів через ланцюги поставок, щоб забезпечити простежуваність

харчових продуктів, прозорість закупівель та безпеку харчових продуктів;

— *великі дані* (Big Data) — масиви швидкозмінних та складних даних, які є занадто великими, швидкими та різномірними для обробки традиційними методами. Автори виділяють три ключові сфери: нові дані, що генеруються на фермах, нові консультаційні послуги від ІТ-провайдерів і використання великих даних на етапах переробки та виробництва. Агропродовольча система також інтегрує великі дані із зовнішніх джерел, включаючи супутникові знімки та метеорологічну інформацію від Google та NASA;

— *автоматизація та роботизація* дали машинам змогу виконувати завдання, які раніше належали людям. До них належать посів, висаджування, прополювання, збирання, різання та пакування; підвищення ефективності та зниження витрат на робочу силу. Це пов'язано з певними ризиками, зокрема з витісненням робочої сили та нерівністю доступу для малих і середніх підприємств.

Завдяки *моделям машинного навчання* (ML) можна розпізнавати ранні ознаки захворювань у худоби, спираючись на поведінку, фізіологічні дані та фактори навколишнього середовища, що дає змогу своєчасно втручатися та знижувати ризик спалахів. Аналогічно, машинне навчання може підвищити безпеку харчових продуктів, виявляючи ризики забруднення, псування або фальсифікації, перш ніж продукти потраплять до споживачів. Зі зростанням інтеграції геномних, протеомних і метаболомних даних, машинне навчання також відіграватиме важливу роль у точній селекції та моніторингу здоров'я, що призведе до здоровіших тварин і безпечніших м'ясних продуктів [26].

Агропродовольчі системи охоплюють широкий спектр діяльності, починаючи від первинного виробництва харчових і нехарчових сільськогосподарських продуктів до їх зберігання, післязбиральної обробки, транспортування, переробки, розподілу, маркетингу, споживання та утилізації або повторного використання. Формування циклічної агропродовольчої системи полягає в перенаправленні продуктів, що втратили споживчу цінність, не на сміттєзвалища, а на переробку. Натомість, отримані з них вторинні матеріали, використовуються замість первинних ресурсів у межах замкнених ланцюгів постачання. Створення циклічної системи тісно пов'язане з концепцією циклічної економіки, де циклічна економіка — це регенеративна система, що мінімізує втрати ресурсів, викиди газів і витік енергії шляхом уповільнення, закриття та звуження матеріальних та енергетичних циклів [27].

Масштабний розвиток нанотехнологій відкрив нову еру промислових технологій у сучасну епоху [28; 29]. Більшість наноматеріалів, що використовуються в товарах, походять із різних галузей. Стерилізація текстильних тканин, знезараження води, ліки та пакування харчових продуктів також використовують наночастинки. Харчовий сектор нещодавно було вдосконалено завдяки новаторським нанотехнологіям. Наночастинки з антимікробними властивостями можна інтегрувати в речовини для пакування харчових продуктів, щоб подовжити термін придатності та зберегти якість продуктів харчування для споживання. Очікується, що наночастинки значно збільшать своє проникнення на ринок харчової промисловості найближчими роками.

Останнім часом біоенергетика є одним із головних джерел енергії, оскільки вона може бути відновлюваною та екологічно чистою. Нині майже 95 % світового попиту задовольняється за рахунок викопного палива, але відомо, що біоводень як біогаз є дуже ефективним, ніж інші гази. Водень є одним із найпоширеніших хімічних елементів, не забруднює атмосферу і не є отруйною речовиною. Він вважається поновлюваним і стійким джерелом енергії, мінімізує відходи, а також зменшує негативний вплив викопного палива, тоді як його спалювання супроводжується викидом CO₂. Біоводень не спричиняє ефекту парникових газів, руйнування озонового шару та глобального потепління і є безпечнішим у використанні, аніж природний газ [30; 31]. Для виробництва водню біомаса та вода можуть використовуватися як відновлювані ресурси. Виробництво біоводню з таких ресурсів також відоме, як "зелена технологія". Виробництво водню можна здійснювати за допомогою темного бродіння, що є ефективним методом його отримання. Існує декілька способів виробництва водню з побутових відходів, відходів сільського господарства, харчових відходів, промислових стічних вод і каналізаційних стоків. Стічні води, промислові стічні води є дешевими та ефективними методами виробництва біоводню, а його отримання поєднується з процесом очищення цих вод [32; 33].

ВИСНОВКИ

1. Інжиніринг у харчових виробництвах упевнено опановує світовий харчовий простір, що підкреслює його важливість і актуальність.

2. Цифровізація стає безумовним доповненням інжинірингу в аграрному секторі, сприяючи підвищенню ефективності системи загалом.

3. Зелені технології, що засновані на принципах інжинірингу, спрямовуються на виробництво безпечних і високоякісних харчових

продуктів. Технології заміни можуть покращити органолептичні та сенсорні властивості, а також забезпечити мікробний захист харчових продуктів. Високочастотне імпульсне електричне поле, високий гідростатичний тиск, криогенне охолодження, нанотехнології, омичний нагрів та інші сучасні методи є прикладами нових технологій виробництва харчових продуктів, які здатні зменшити споживання енергії, скоротити викиди, підвищити ефективність, продуктивність та покращити якість продукції. Поєднання цих стратегій може заощадити ресурси, а також гарантувати безпеку та якість харчових продуктів. Використання всіх цих “зелених” методів у харчовому секторі було досліджено не лише за кордоном, про що свідчать науково-технічні літературні джерела, а і частково в Україні [34–36]. Однак необхідні додаткові дослідження, потрібно задіяти весь науковий потенціал, щоб визначити найкращі методи обробки з метою оптимізації інтенсивності процесів в одній системі та підвищення загальних характеристик харчових продуктів та їхньої безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Awulachew M. T.* Engineering Principles and Business Model Innovation in Food Systems to Achieve Sustainable Development Goals / Melaku Tafese Awulachew // *Asian Science Bulletin*. – 2024. — Vol. 2. — Issue 3. — P. 229–241. DOI: <https://doi.org/10.3923/asb.2024.229.241>.
2. *Saguy I. S.* Food engineering and food science and technology: Forward-looking journey to future new horizons / I. S. Saguy, Y. H. Roos, E. Cohen // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. — 2018. — Vol. 47. — P. 326–334. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.001>.
3. The relationship between lifestyle components and dietary patterns / A. Gherasim, L. I. Arhire, O. Niță et al. // *Proceedings of the Nutrition Society*. — 2020. — Vol. 79. — Issue 3. — P. 311–323. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0029665120006898>.
4. Changing diets and the transformation of the global food system / S. J. Vermeulen, T. Park, C. K. Khoury, C. Béné // *Annals of the New York Academy of Sciences*. — 2020. — Vol. 1478. — Issue 1. — P. 3–17. DOI: <https://doi.org/10.1111/nyas.14446>.
5. *Alkhafaji M. A. J.* The modern food industry: trends, challenges, and innovations / M. A. J. Alkhafaji // *Iraqi journal of market research and consumer protection*. — 2024. — Vol. 16. — No 1. — P. 135–145. DOI: <https://doi.org/10.28936/jmracpc16.1.2024.111>.
6. Population Growth [Electronic resource] / H. Ritchie, L. Rodés-Guirao, E. Mathieu, M. Gerber, et al. // *Our World in Data*. — 2023. — Access mode: <https://ourworldindata.org/population-growth>.
7. *Cattaneo A.* The environmental impact of reducing food loss and waste: A critical assessment / A. Cattaneo, G. Federighi, S. Vaz // *Food Policy*. — 2021. — Vol. 98. — 101890. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101890>.
8. Affordability of the eat – lancet reference diet: a global analysis / K. Hirvonen, Y. Bai, D. Headey, W. A. Masters // *The Lancet Glob Health*. — 2020. — Vol. 8. — Issue 1. — E59–E66. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(19\)30447-4](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30447-4).
9. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050 / M. van Dijk, T. Morley, M. L. Rau, Y. Saghai // *Nature Food*. — 2021. — No. 2. — P. 494–501. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>.
10. Recent advances in microalgae, insects, and cultured meat as sustainable alternative protein sources / N. Fatima, M. N. Emambux, A. N. Olaimat, A. Ch. Stratakos et al. // *Food and Humanity*. — 2023. — Vol. 1. — P. 731–741. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fooHum.2023.07.009>.
11. *Cabelkova I.* Understanding Public Perception of Genetically Modified Food: Navigating Misinformation and Trust / I. Cabelkova // *Food Science & Nutrition Technology*. — 2024. — Vol. 9. — Issue 3. — P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.23880/fsnt-16000354>.
12. Impacts of food contact chemicals on human health: a consensus statement / J. Muncke, A.-M. Andersson, T. Backhaus, J. M. Boucher et al. // *Environment Health*. — 2020. — Vol. 19. — P. 25. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12940-020-0572-5>.
13. *Rangavajla N.* Food Processing Innovations are a Powerful Enabler of the Future of Food, Making a Compelling Case for Entrepreneurship and Collaboration Between Industry and Academia to Ensure a Sustainable Future / N. Rangavajla // *J Food Process Engineering*. — 2025. — Vol. 48. — e70066. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.70066>.
14. *Kovačević S.* Artificial Intelligence and Experimental Design: The Flywheel of Innovating Food Processing Engineering / S. Kovačević, M. Karadžić Banjac, S. Podunavac-Kuzmanovic // *Processes*. — 2025. — Vol. 13 (3). — 846. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr13030846>.
15. Genetically engineered crops for sustainably enhanced food production systems / M. A. Aziz, F. Brini, H. Rouached, K. Masmoudi // *Front Plant Sci*. — 2022. — Vol. 13. — 1027828. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1027828>.
16. A Critical Review: Recent Advancements in the Use of CRISPR/Cas9 Technology to Enhance Crops and Alleviate Global Food Crises / A. Rasheed, R. A. Gill, M. U. Hassan, A. Mahmood, et al. // *Curr Issues Mol Biol*. — 2021. — Vol. 43(3). — P. 1950–1976. DOI: <https://doi.org/10.3390/cimb43030135>.
17. *Marti P.* Transformational design for food systems: Cultural, social and technological challenges / P. Marti, S. Massari, A. Recupero // *International Journal of Food Design*. — 2023. — Vol. 8. — P. 109–132. DOI: https://doi.org/10.1386/ijfd_00053_1.
18. *Brock S.* What is a food system? Exploring enactments of the food system multiple / S. Brock // *Agriculture and Human Values*. — 2023. — Vol. 40. — P. 799–813. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10460-023-10457-z>.
19. *Ritchie H.* Environmental Impacts of Food Production [Electronic resource] / H. Ritchie, P. Rosado, M. Roser // *Our World in Data*. — 2022. — Access mode: <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>
20. *Fung F.* Food safety in the 21st century / F. Fung, H.-Sh. Wang, S. Menon // *Biomedical Journal*. — 2018. — Vol. 41. — Issue 2. — P. 88–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bj.2018.03.003>.
21. Sustainable consumption of food: Framing the concept through Turkish expert opinions / F. T. Özkaya, M. G. Durak, O. Doğan, Z. A. Bulut, R. Haas // *Sus-*

- tainability. — 2021. — Vol. 13(7). — P 3946. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13073946>.
22. Review of the sustainability of food systems and transition using the Internet of Food / N. M. Holden, E. P. White, M. C. Lange, T. L. Oldfield // *NPJ Science of Food*. — 2018. — Vol. 18. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41538-018-0027-3>.
 23. *Vahdanjoo M.* Digital transformation of the agri-food system / M. Vahdanjoo, C. G. Sørensen, M. Nørremark // *Current Opinion in Food Science*. — 2025. — Vol. 63. — P. 101287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2025.101287>.
 24. Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity / R. Abiri, N. Rizan, S. K. Balasundram et al. // *Heliyon*. — 2023. — Vol. 9. — Issue 12. — e22601. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22601>.
 25. *Chhetri K.* Applications of Artificial Intelligence and Machine Learning in Food Quality Control and Safety Assessment / K. B. Chhetri // *Food Engineering Reviews*. — 2023. — Vol. 16. — P. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12393-023-09363-1>.
 26. *Rejeb A.* The impact of machine learning applications in agricultural supply chain: a topic modeling-based review / A. Rejeb, K. Rejeb, A. Hassoun // *Discover Food*. — 2025. — Vol. 5. — P. 141. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00419-1>.
 27. Life cycle and circularity metrics to measure the sustainability of closed-loop agri-food pathways / G. Falcone, T. Stillitano, N. Iofrida et al. // *Front. Sustain. Food Syst.* — 2022. — Vol. 6. — P. 1014228. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1014228>.
 28. *Panigrahy M.* Nanomaterials in food processing, packaging preservation and their effects on health & environment / M. Panigrahy, G. Ra. Rout // *European Food Research and Technology*. — 2025. — Vol. 251. — P. 861–875. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-025-04676-3>.
 29. Application of nanotechnology in food: processing, preservation, packaging and safety assessment / R. Biswas, M. Alam, A. Sarkar et al. // *Heliyon*. — 2022. — Vol. 8. — Issue 11. — e11795. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11795>.
 30. Hydrogen production via dark fermentation: a review of influential factors / M. S. Taggar, A. Kaur, Chahak Jain, A. Kalia // *Cellulose Chemistry and Technology*. — 2024. — Vol. 58 (9–10). — P. 1051–1063. DOI: [10.35812/CelluloseChemTechnol.2024.58.90](https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2024.58.90).
 31. Global Hydrogen Review 2023. Analysis [Electronic resource] // IEA. — 2022. — Access mode: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>.
 32. Biohydrogen Produced via Dark Fermentation: A Review / M. Moreira Albuquerque, G. de Bona Sartor, W. J. Martinez-Burgos et al. // *Methane*. — 2024. — Vol. 3. — Issue 3. — P. 500–532. — DOI: <https://doi.org/10.3390/methane3030029>.
 33. The effect of substrate acidification on the biohydrogen production by dark fermentation / S. Xue, H. Chen, F. Wang, et al. // *International Journal of Hydrogen Energy*. — 2024. — Vol. 49. — Part A. — P. 177–188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.183>.
 34. Інноваційні технології розвитку харчових виробництв та ресторанної індустрії: наукові пошуки молоді [Електронний ресурс]: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених (26 жовт. 2023 р.). — Харків : Державний біотехнологічний університет, 2023. — 147 с. — Режим доступу: <https://biotechuniv.edu.ua/nauka/konferentsiyi/>.
 35. Інноваційні технології харчових виробництв: монографія / І. М. Берник, Н. В. Новгородська, А. М. Соломон, С. М. Овсієнко, М. М. Бондар. — Вінниця : ФОП Кушнір Ю. В., 2022. — 300 с.
 36. *Зубченко Л. С.* Аналіз продуктивності біотехнологічного отримання водню за використання мікроорганізмів з різними типами метаболізму, перспективні напрямки подальших досліджень / Л. С. Зубченко, Є. В. Кузьмінський // *ScienceRise*. — 2015. — Vol. 10. — No. 6 (15). — P. 47–53.

REFERENCES

1. Awulachew, M. T. (2024). Engineering Principles and Business Model Innovation in Food Systems to Achieve Sustainable Development Goals. *Asian Science Bulletin*, 2 (3), 229-241. DOI: <https://doi.org/10.3923/asb.2024.229.241>.
2. Saguy, I. S., Roos, Y. H., & Cohen, E. (2018). Food engineering and food science and technology: Forward-looking journey to future new horizons. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 326-334. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.001>.
3. Gherasim, A., Arhire, L. I., Niță, O., Popa, A. D., Graur, M., & Mihalache, L. (2020). The relationship between lifestyle components and dietary patterns. *Proceedings of the Nutrition Society*, 79 (3), 311-323. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0029665120006898>.
4. Vermeulen, S. J., Park, T., Khoury, C. K., & Béné, C. (2020). Changing diets and the transformation of the global food system. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1478 (1), 3-17. DOI: <https://doi.org/10.1111/nyas.14446>.
5. Alkhafaji, M. A. J. (2024). The modern food industry: trends, challenges, and innovations. *Iraqi journal of market research and consumer protection*, 16 (1), 135-145. DOI: [https://doi.org/10.28936/jmraccp16.1.2024.\(11\)](https://doi.org/10.28936/jmraccp16.1.2024.(11)).
6. Ritchie, H., Rodés-Guirao, L., Mathieu, E., Gerber, M., Ortiz-Ospina, E., & Hasell, J. et al. (2023). Population Growth. *Our World in Data*. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/population-growth>.
7. Cattaneo, A., Federighi, G., & Vaz, S. (2021). The environmental impact of reducing food loss and waste: A critical assessment. *Food Policy*, 98, 101890. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101890>.
8. Hirvonen, K., Bai, Ya., Headey, D., & Masters, W. A. (2020). Affordability of the eat – lancet reference diet: a global analysis. *The Lancet Glob Health*, 8 (1), E59-E66. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(19\)30447-4](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30447-4).
9. van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2, 494–501. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>.
10. Fatima, Na., Emambux, M. N., Olaimat, A. N., Stratakos, A. Ch., Nawaz, A., & Wahyono, A. et al. (2023). Recent advances in microalgae, insects, and cultured meat as sustainable alternative protein sources. *Food and Humanity*, 1, 731-741. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.07.009>.
11. Cabelkova, I. (2024). Understanding Public Perception of Genetically Modified Food: Navigating Misinformation and Trust. *Food Science & Nutrition Technology*, 9 (3), 1-5. DOI: <https://doi.org/10.23880/fsnt-16000354>.

12. Muncke, J., Andersson, A.-M., Backhaus, Th., Boucher, J. M., Almroth, B. C., & Castillo, A. C. et al. (2020). Impacts of food contact chemicals on human health: a consensus statement. *Environ Health*, 19:25. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12940-020-0572-5>.
13. Rangavajla, N. (2025). Food Processing Innovations are a Powerful Enabler of the Future of Food, Making a Compelling Case for Entrepreneurship and Collaboration Between Industry and Academia to Ensure a Sustainable Future. *J Food Process Engineering*, 48, e70066. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.70066>.
14. Kovačević, S., Milica Karadžić Banjac, M. K., & Podunavac-Kuzmanovic, S. (2025). Artificial Intelligence and Experimental Design: The Flywheel of Innovating Food Processing Engineering. *Processes*, 13 (3), 846. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr13030846>.
15. Aziz, M. A., Brini, F., Rouached, H., & Masmoudi, Kh. (2022). Genetically engineered crops for sustainably enhanced food production systems. *Front Plant Sci*, 13, 1027828. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1027828>.
16. Rasheed, A., Gill, R. A., Hassan, M. U., Mahmood, A., Qari, S., & Zaman, Q. U. (2021). A Critical Review: Recent Advancements in the Use of CRISPR/Cas9 Technology to Enhance Crops and Alleviate Global Food Crises. *Curr Issues Mol Biol*, 43(3), 1950-1976. DOI: <https://doi.org/10.3390/cimb43030135>.
17. Marti, P., Massari, S., & Recupero, A. (2023). Transformational design for food systems: Cultural, social and technological challenges. *International Journal of Food Design*, 8, 109-132. DOI: https://doi.org/10.1386/ijfd_00053_1.
18. Brock, S. (2023). What is a food system? Exploring enactments of the food system multiple. *Agriculture and Human Values*, 40, 799-813. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10460-023-10457-z>.
19. Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2022). Environmental Impacts of Food Production. Our World in Data. Access mode: <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>.
20. Fung, F., Wang, Y.-Sh., & Menon, S. (2018). Food safety in the 21st century. *Biomedical Journal*, 41(2), 88-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bj.2018.03.003>.
21. Özkaya, F. T., Durak, M. G., Doğan, O., Bulut, Z. A., & Haas, R. (2021). Sustainable consumption of food: Framing the concept through Turkish expert opinions. *Sustainability*, 13 (7), 3946. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13073946>.
22. Holden, N. M., White, E. P., Lange, M. C., & Oldfield, Th. L. (2018). Review of the sustainability of food systems and transition using the Internet of Food. *NPJ Science of Food*, 18. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41538-018-0027-3>.
23. Vahdanjoo, M., Sørensen, C. C., & Nørremark, M. (2025). Digital transformation of the agri-food system. *Current Opinion in Food Science*, 63, 101287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2025.101287>.
24. Abiri, R., Rizan, N., Balasundram, S. K., Shahbazi, A. B., & Abdul-Hamid, H. (2023). Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. *Heliyon*, 9 (12), e22601. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22601>.
25. Chhetri, K. B. (2023). Applications of Artificial Intelligence and Machine Learning in Food Quality Control and Safety Assessment. *Food Engineering Reviews*, 16, 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12393-023-09363-1>.
26. Rejeb, A., Rejeb, K., & Hassoun, A. (2025). The impact of machine learning applications in agricultural supply chain: a topic modeling-based review. *Discover Food*, 5, 141. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00419-1>.
27. Falcone, G., Stillitano, T., Iofrida, N., Spada, E., Bernardi, B., & Gulisano, G. et al. (2022). Life cycle and circularity metrics to measure the sustainability of closed-loop agri-food pathways. *Front. Sustain. Food Syst*, 6, 1014228. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1014228>.
28. Panigrahy, M., & Rout, G. R. (2025). Nanomaterials in food processing, packaging preservation and their effects on health & environment. *European Food Research and Technology*, 251, 861-875. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-025-04676-3>.
29. Biswas, R., Alam, M., Sarkar, A., Haque, I., Hasan, M., & Hoque, M. (2022). Application of nanotechnology in food: processing, preservation, packaging and safety assessment. *Heliyon*, 8 (11), e11795. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11795>.
30. Taggar, M. S., Kaur, A., Jain, C., & Kalia, A. (2024). Hydrogen production via dark fermentation: a review of influential factors. *Cellulose Chemistry and Technology*, 58 (9-10), 1051-1063. DOI: 10.35812/CelluloseChemTechnol.2024.58.90.
31. (2022). Global Hydrogen Review 2023. *Analysis. IEA*. Retrieved from: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>.
32. Albuquerque, M. M., Sartor, G. B., Martinez-Burgos, W. J., Scapini, Th., Edwiges, Th., & Soccol, C. R. et al. (2024). Biohydrogen Produced via Dark Fermentation: A Review. *Methane*, 3 (3), 500-532. DOI: <https://doi.org/10.3390/methane3030029>.
33. Xue, S., Chen, H., Wang, F., Lv, G., Tan, L., & Liu, G. (2024). The effect of substrate acidification on the biohydrogen production by dark fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 49 (Part A), 177-188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.183>.
34. (2023). Innovatsiini tekhnolohii rozvytku kharchovykh vyrobnystv ta restoranoi industrii: naukovi poshuky molodi [Innovative technologies for the development of food production and the restaurant industry: scientific research of young people]. *International Scientific and Practical Conference of Higher Education Students and Young Scientists* (October 26, 2023). Kharkiv, 147 p. Retrieved from: <https://biotechuniv.edu.ua/nauka/konferentsiyi/>. [in Ukr.].
35. Bernyk, I. M., Novhorodska, N. V., Solomon, A. M., Ovsienko, S. M., & Bondar, M. M. (2022). Innovatsiini tekhnolohii kharchovykh vyrobnystv [Innovative technologies of food production]. Vinnytsia, 300 p. [in Ukr.].
36. Zubchenko, L. S., & Kuzminskyi, Ye. V. (2015). Analiz produktyvnosti biotekhnolohichnoho otrymannia vodniu za vykorystannia mikroorhanizmiv z riznyimi typamy metabolizmu, perspektyvni napriamky podalshykh doslidzhen [Analysis of the productivity of biotechnological hydrogen production using microorganisms with different types of metabolism, promising directions for further research]. *ScienceRise*, 10 (6 (15)), 47-53. [in Ukr.].

O. A. PIVOVAROV, D. Sc. in Engineering, Professor

V. S. KOSHULKO, PhD in Engineering, Associate Professor

USE OF ENGINEERING IN FOOD PRODUCTION

Abstract. *The article is devoted to the analysis of international experience in the application of engineering in industrial practice, its purpose and effectiveness in the growing engineering, technological, environmental and economic space of the agricultural complex, as well as food production. Practice shows that the features of engineering in the food industry predictably stimulate production, the quality of the final product grows similarly to the demand for it, raw materials are used rationally, the level of environmental friendliness increases, which leads the production to the level of international standards aimed at preserving and economical costs of the raw material base, improving the ecological state through the use of the latest technologies in the physical, chemical and biological fields with the involvement of modern digital tools. The rating of food production, consumer confidence in modern food products, the role of industries engaged in the processing of agricultural waste are increasing, which is demonstrated by the example of biohydrogen production with dark fermentation. Attention is paid to substitutes for animal products with those that use raw materials of plant origin. All engineering activities contribute to the transition of food production to a new technological level, as required by time and a growing society.*

Keywords: *engineering, food science, food, artificial intelligence, agricultural sector, digitalization, agri-food systems, food security.*

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Півоваров Олександр Андрійович — д-р техн. наук, проф., проф. кафедри харчових технологій, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Дніпропетровська обл., Україна, 49000; +38 (097) 342-46-60; alexander.pivovarov15@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0520-171X

Кошулько Віталій Сергійович — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри харчових технологій, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Дніпропетровська обл., Україна, 49000; +38 (096) 924-82-67; vitaliykoshulko@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0744-6318

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pivovarov O. A. — D. Sc. in Engineering, Professor, Professor of the Department of Food Technologies, Dnipro State Agrarian and Economic University, 25, Serhiy Yefremov Str., Dnipro, Ukraine, 49000; +38 (097) 342-46-60; alexander.pivovarov15@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0520-171X

Koshulko V. S. — PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Food Technologies, Dnipro State Agrarian and Economic University, 25, Serhiy Yefremov Str., Dnipro, Ukraine, 49000; +38 (096) 924-82-67; vitaliykoshulko@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0744-6318

Надійшла до редакції 18.07.2025

