

## **Postol Y., Petrenko K. Decentralization of energy: a new stage of transformation**

*Summary.* The article examines energy decentralization as a key stage in the modern transformation of energy systems, with a particular focus on the role of higher education institutions (HEIs). Global trends in the development of distributed generation, digitalization, and microgrids are analyzed. It is substantiated that universities form the human, scientific, and innovation potential necessary for the transition to a polycentric energy model. Methodological approaches to modernizing educational programs and developing the innovation infrastructure of HEIs are proposed.

**Keywords:** energy decentralization, higher education institutions, distributed generation, microgrids, energy education, digitalization, energy security.

**УДК 664.8/9.002.5:681.518.9**

**Самойчук К.О.,** д.тех.н., професор, **Дмитревський Д.В.,** к.тех.н, доцент  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

## **МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ В ЛІНІЯХ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ**

*Анотація.* У статті запропоновано комплексну методику впровадження інтелектуальних систем керування в потоково-технологічні лінії переробки плодоовочевої продукції. Обґрунтовано застосування комп'ютерного зору для сортування сировини та нечіткої логіки для стабілізації нелінійних процесів. Описано трирівневу архітектуру інтеграції з існуючим обладнанням. Апробація методики підтвердила підвищення енергоефективності лінії та зниження втрат кондиційних плодів.

**Ключові слова:** плодоовочева продукція, переробне обладнання, інтелектуальні системи керування, комп'ютерний зір, нечітка логіка, потоково-технологічна лінія, автоматизація, енергоефективність.

**Постановка проблеми.** Сучасний етап розвитку агропромислового комплексу України вимагає кардинальної модернізації переробної галузі,

зокрема сегменту плодоовочевої продукції. Традиційні технологічні лінії часто характеризуються високою енергоємністю, значною часткою ручної праці та нестабільною якістю кінцевого продукту через нелінійність і динамічність властивостей рослинної сировини. Забезпечення конкурентоспроможності вітчизняного виробництва можливе лише за умови переходу від механічної автоматизації до інтелектуального керування [1].

Впровадження інтелектуальних систем (штучного інтелекту, неймереж, комп'ютерного зору) дозволяє оперативно адаптувати параметри обладнання до змінних характеристик сировини (розмір, стиглість, вологість) у реальному часі. Проте на практиці виникає серйозне протиріччя: швидкий розвиток Smart-технологій випереджає процес їх реального впровадження на виробництві. Головною причиною цього є відсутність чітких, адаптованих до інженерної практики методичних підходів щодо інтеграції інтелектуальних алгоритмів в існуючі технологічні лінії переробки [2].

З огляду на це, постає гостра потреба у розробці комплексної методики застосування інтелектуальних систем керування, яка б поєднувала теоретичні засади автоматизації з практичними рекомендаціями для інженерно-технічного персоналу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання автоматизації та інтенсифікації процесів переробки сільськогосподарської сировини постійно перебуває в центрі уваги провідних вітчизняних та закордонних науковців. У науковій літературі накопичено значний теоретичний і практичний матеріал, присвячений модернізації обладнання харчової та переробної промисловості. Дослідження у цьому напрямі розвиваються за кількома основними векторами, що охоплюють як конструювання нових машин, так і вдосконалення методів управління ними [3].

Перший напрям досліджень пов'язаний із моделюванням технологічних процесів переробки плодоовочевої сировини як об'єктів керування. Науковці детально описують гідродинамічні, тепломасообмінні та механічні процеси, що відбуваються в мийних, сортувальних, різальних та сушільних апаратах. Особлива увага приділяється специфіці сировини, її реологічним та фізико-механічним властивостям, які суттєво змінюються в процесі обробки. Проте більшість класичних моделей спирається на детерміновані підходи, які не завжди здатні врахувати випадкові збурення та нестабільність характеристик реальних природних об'єктів [4].

Другий вектор охоплює застосування сучасного інструментарію теорії автоматичного керування в харчовому машинобудуванні. У працях

дослідників активно розглядаються питання заміни релейно-контактних схем на програмовані логічні контролери та побудову багаторівневих систем збору даних. Водночас останнім часом акцент змістився в бік інтелектуалізації технічних систем. Науковці доводять високу ефективність використання алгоритмів нечіткої логіки, штучних нейронних мереж та технологій комп'ютерного зору. Зокрема, методи розпізнавання образів демонструють відмінні результати на стадіях калібрування, сортування та дефектоскопії плодів, де традиційні датчики є малоефективними. Нейромережеві підходи успішно застосовують для прогнозування та оптимізації енергоємних процесів, як-от теплова сушка чи мембранне концентрування соків [5].

Незважаючи на глибоке теоретичне опрацювання окремих інтелектуальних алгоритмів, аналіз літератури виявляє суттєву науково-методичну прогалину. Більшість публікацій має вузькоспеціалізований характер і зосереджена на вирішенні локальних завдань – наприклад, оптимізації роботи одного конкретного датчика або розрахунку окремого режиму роботи камери [6]. Натомість комплексні методичні рішення, які б пропонували наскрізний алгоритм проєктування, налаштування та експлуатації інтелектуальних систем керування для цілих потоково-технологічних ліній, практично відсутні. Більше того, наявні наукові розробки часто перевантажені складним математичним апаратом і не адаптовані до рівня інженерно-технічного персоналу підприємств. Це стримує масштабне перенесення перспективних концепцій штучного інтелекту з лабораторій у реальні виробничі цехи плодоовочевої галузі.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розробка та обґрунтування комплексної методики впровадження інтелектуальних систем керування в потоково-технологічні лінії переробки плодоовочевої продукції. Для досягнення цієї мети передбачено вирішення завдань із типізації обладнання як об'єктів автоматизації, адаптації алгоритмів штучного інтелекту й нейромереж під конкретні технологічні операції, а також формування чіткого інженерного регламенту для підвищення енергоефективності та якості готової продукції.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Розробка та впровадження методики застосування інтелектуальних систем керування (ІСК) у лініях переробки плодоовочевої продукції базується на системному підході. Потоково-технологічна лінія розглядається як комплексний об'єкт керування із декількома рівнями декомпозиції. Специфіка плодоовочевої сировини (неоднорідність фізико-механічних властивостей, обмежений термін зберігання, чутливість до механічних пошкоджень) вимагає

гнучкості алгоритмів автоматизації. Запропонована методика передбачає послідовну реалізацію чотирьох ключових етапів: технологічний аудит та типізацію обладнання, синтез інтелектуальних контурів, програмно-апаратну інтеграцію та формування інженерного регламенту експлуатації [7].

На першому етапі здійснюється аналіз технологічної лінії як об'єкта автоматизації з виділенням критичних точок контролю. Типова лінія переробки плодоовочевої сировини консервативного типу зазвичай включає ділянки миття, інспекції та сортування, механічного оброблення (очищення, різання), теплової або хімічної стабілізації (бланшування, пастеризація) та безпосереднього пакування чи консервування. Методика передбачає оцінку кожного вузла за критеріями динамічності та керованості. Наприклад, ділянка сортування характеризується високою швидкістю зміни параметрів потоку, що робить її пріоритетною для впровадження систем комп'ютерного зору. Натомість теплові процеси (сушіння, випаровування) є високоінерційними та потребують прогнозних моделей на базі штучних нейронних мереж [8].

Другий етап методики присвячений безпосередньому вибору та адаптації інтелектуальних інструментів під конкретні технологічні операції. Для стадії сортування та дефектоскопії плодів методично обґрунтовано використання систем комп'ютерного зору на основі згорткових нейронних мереж. Традиційні вагові або оптичні датчики відсікають сировину лише за лінійними розмірами. Інтелектуальна підсистема за допомогою промислових камер аналізує спектральні характеристики поверхні плоду, виявляючи приховані гнилі, механічні пошкодження або невідповідність кольору (ступеня стиглості). Алгоритм класифікації передає керуючий сигнал на виконавчі механізми (пневматичні форсунки або штовхачі), забезпечуючи прецизійне розділення потоку сировини без пошкодження її цілісності.

Для керування процесами з нелінійними характеристиками, такими як екстракція або ультрафільтрація соків, методика пропонує застосування систем на основі нечіткої логіки (Fuzzy Logic). Математичний опис мембранного фільтрування ускладнений явищем концентраційної поляризації та гелеутворення на поверхні мембран. База правил нечіткого контролера формується на основі досвіду головного технолога виробництва (експертних знань). Це дозволяє динамічно регулювати робочий тиск і швидкість подачі газо-рідинної суміші залежно від поточної прозорості та в'язкості пермеату, суттєво подовжуючи тривалість роботи мембран між циклами регенерації.

Третій етап охоплює програмно-апаратну інтеграцію інтелектуальних модулів в існуючу архітектуру підприємства. Апаратне забезпечення реалізується за трирівневою схемою SCADA-систем. Нижній рівень (польовий) складається з інтелектуальних датчиків, приводів та систем технічного зору. Середній рівень базується на програмованих логічних контролерах (ПЛК), які виконують роль шлюзів і первинних обробників даних. Верхній рівень представляє собою промисловий сервер або хмарну платформу, де функціонують важкі нейромережеві моделі. Перевагою такої архітектури є те, що у разі тимчасової втрати зв'язку з верхнім інтелектуальним рівнем, ПЛК автоматично переводить лінію на класичні алгоритми регулювання (наприклад, ПІД-регулятори), що гарантує безаварійність виробництва.

Четвертий, завершальний етап методики спрямований на практичну адаптацію розроблених рішень для персоналу. Він включає створення уніфікованих графічних інтерфейсів (НМІ). Інтерфейс оператора лінії звільняється від складних математичних графіків. Інтелектуальна система виводить на екран інтегральні показники стану лінії у вигляді «зеленої/жовтої/червоної» зон та генерує прямі текстові підказки для оператора (наприклад: «Рекомендовано знизити температуру бланшування на 2 градуса через зниження щільності поточної партії томатів»).

Експериментальна апробація запропонованої методики на базі діючої лінії комплексного перероблення яблучної сировини підтвердила її високу ефективність. Застосування інтелектуального сортування дозволило знизити відсоток помилкового відбраковування кондиційних плодів на 12–14%. Одночасно з цим нейромережева оптимізація контуру термічної обробки та концентрування забезпечила зменшення питомих витрат енергоносіїв на 8–10% за рахунок мінімізації перерегулювання та точного підтримання технологічних параметрів у зоні оптимуму.

Таким чином, представлена методика трансформує складні математичні концепції штучного інтелекту в чітку інженерну послідовність дій. Це дозволяє здійснювати поетапну, економічно обґрунтовану модернізацію технічної бази підприємств харчової та переробної промисловості, підвищуючи якість готової продукції та знижуючи собівартість її виробництва в умовах нестабільного ринку сировини.

**Висновки.** У статті запропоновано та науково обґрунтовано комплексну методику застосування інтелектуальних систем керування в лініях переробки плодоовочевої продукції. На основі системного аналізу технологічних процесів як об'єктів автоматизації доведено доцільність поєднання алгоритмів комп'ютерного зору для операцій сортування

сировини та нечіткої логіки для мінімізації явищ концентраційної поляризації й гелеутворення при мембранному фільтруванні соків.

Розроблена трирівнева архітектура програмно-апаратної інтеграції на базі SCADA-систем гарантує високу відмовостійкість і стабільність виробництва. Результати експериментальної апробації підтвердили високу ефективність методики: зниження помилкового відбраковування кондиційних плодів на 12...14% та зменшення питомих витрат енергоносіїв на 8...10%, що забезпечує підвищення конкурентоспроможності переробних підприємств АПК.

### Література

1. Bualuang O., Srisertpol J., Khajorntraidet C. Design of a fuzzy logic controller for an automated washing and sorting machine for agricultural products. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021. Vol. 2021. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6649231>.

2. Kazi S.A., Bhattacharya S. Automation and advanced control structures in food processing industry: a review of current trends. *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol. 122. P. 135–148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.018>.

3. Deynichenko G., Dmytrevskiy D., Honchar D. Membrane processing of apple juice as an innovative direction in the food industry. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В.М. Кюрчев. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. Вип. 25, т. 3. С. 190–197. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-3-25>.*

4. Computer vision system for real-time quality control and sorting of agricultural products on conveyor belts / S. Malyuta, O. Sergiyenko, M. Rivas-Lopez et al. *Sensors*. 2023. Vol. 23. №4. P. 184–185. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23041842>.

5. Smart control systems in the winemaking industry using artificial neural networks for fermentation monitoring / Villalba M., Del Fresno J.M., Loira I., Morata A. *Food Control*. 2023. Vol. 145. P. 104–109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109483>.

6. Prospects of using equipment for membrane separation of food liquids / G. Deynichenko, D. Dmytrevskiy, V. Guzenko et al. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В.М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 13, том 2. С. 1–11. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-2-12>.*

7. Bualuang O., Srisertpol J., Khajorntraidet C. Design of a fuzzy logic controller for an automated washing and sorting machine for agricultural products. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021. Vol. 2021. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6649231>.

8. Technical review and intellectual property aspects of innovative membrane technologies in juice production / G. Deinychenko, D. Dmytrevskiy, D. Honchar et al. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*: зб. наук. пр. Харків : ДБТУ, 2025. Вип. 1 (37). С. 164–173. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18154526>.

### **Samoichuk K., Dmytrevskiy D. Methodology of applying intelligent control systems in fruit and vegetable processing lines**

*Summary.* The article proposes a comprehensive methodology for implementing intelligent control systems in processing lines for fruit and vegetable products. The application of computer vision for raw material sorting and fuzzy logic for stabilizing non-linear processes is substantiated. A three-tier integration architecture with existing equipment is described. The methodology approval confirmed increased line energy efficiency and reduced losses of conditioned fruits.

**Keywords:** fruit and vegetable products, processing equipment, intelligent control systems, computer vision, fuzzy logic, processing line, automation, energy efficiency.

**УДК 378.147:004.8**

**Свистун О.І.**, ст. викл., **Беззубко Б.І.**, к.держ.упр., доцент,  
**Коломієць С.С.**, д-р філософії з права, ст. викл.,  
**Шумейко І.П.**, д-р філософії з права, ст. викл.,  
**Юник І.Г.**, к.держ.упр., доцент  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

### **ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

*Анотація.* Статтю присвячено особливостям імплементації технологій штучного інтелекту в освітній процес закладів вищої освіти, а також сучасним викликам і перспективам їх використання у професійній