Applications. 2024. Vol. 15, No. 10. P. 699–706. DOI: 10.14569/IJACSA.2024.0151071.

***Abstract:*** *The paper considers the application of the finite element method for evaluating the stress-strain state of working elements of agricultural product processing machines. A workflow including CAD modelling, mesh generation, boundary conditions, loading and result evaluation is formulated. The main criteria are equivalent stress, deformation, safety factor and displacement. The approach can be used to optimize working-element geometry and improve machine reliability.*

***Keywords:*** *finite element method, stress, deformation, working element, agricultural machine, strength, modelling.*

**Науковий керівник:**
**Садовий О.С.**
*Канд. техн. наук, доцент*
*Миколаївський національний аграрний університет*

**УДК 631.3:539.3**

## КОМПЛЕКСНА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ

**Віталій ОХОТСЬКИЙ, Ігор ШИКАЛЕНКО, Олексій ТАРАН**
Здобувачі вищої освіти спеціальності Н7 агроінженерія
Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

**Анотація:** *Запропоновано підхід до комплексної оптимізації конструктивно-технологічних параметрів машин для переробки плодоовочевої сировини. Розглянуто взаємозв'язок продуктивності, якості, енергоспоживання, втрат сировини та гнучкості технологічної лінії. Обґрунтовано застосування багатокритеріальної оптимізації, за якої конструктивні параметри обладнання пов'язуються з режимами роботи та властивостями сировини. Визначено перспективність поєднання*

*математичних моделей, сенсорного контролю та автоматичного регулювання.*

**Ключові слова:** *плодоовочева сировина, переробне обладнання, оптимізація, продуктивність, енергоефективність, сортування, автоматизація*

Машини для переробки плодоовочевої сировини працюють з біологічно неоднорідним матеріалом, характеристики якого змінюються залежно від сорту, стиглості, розміру, вологості та механічних властивостей. Тому оптимізація лише одного параметра обладнання не гарантує максимального ефекту для всієї технологічної системи. Необхідно одночасно враховувати продуктивність, якість готової продукції, втрати, енергоспоживання та можливість швидкого переналагодження. Сучасні дослідження демонструють розвиток автоматизованого сортування плодів на основі комп'ютерного зору та комбінованих сенсорних систем [1, 3]. Для комплексних переробних установок застосовуються багатокритеріальні методи, які дозволяють знаходити компроміс між кількома цілями проєктування [2, 4].

До змінних оптимізації можна віднести швидкість транспортера v, частоту обертання робочого органа n, зазор δ, діаметр калібрувального отвору d, витрату сировини Q та інші параметри залежно від конкретної машини [5]. Критеріями можуть бути продуктивність $Q \to max$, питомі енерговитрати $e \to min$, втрати сировини $L \to min$ та показник якості $K \to max$.

У загальному вигляді багатокритеріальна функція записується як:

$$F = w1(1 - Q/Q_{max}) + w2(e/e_{max}) + w3(L/L_{max}) + w4(1 - K/K_{max}) \to min. \quad (1)$$

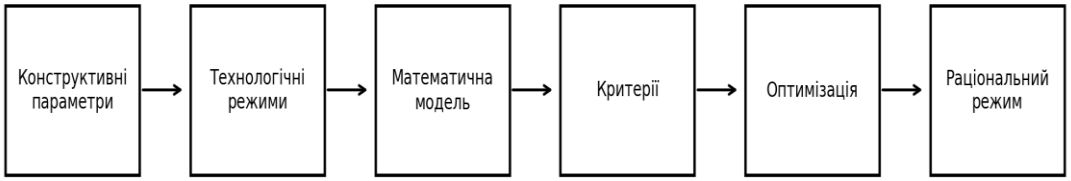



Рисунок 1. Структура комплексної оптимізації

Для комплексної оптимізації доцільно використовувати декілька рівнів моделі. На першому рівні оцінюється механічна робота обладнання, на другому — технологічні показники, на третьому — енергетичні та економічні

результати. У багатопродуктових лініях необхідно також враховувати переналагодження. Дослідження овочепереробних підприємств показує, що багатокритеріальні алгоритми можуть одночасно враховувати час виконання операцій і витрати та знаходити прийнятні послідовності роботи паралельних машин. Для плодоовочевої сировини перспективним є поєднання машинного зору з механічними сортувальними вузлами. Огляд сучасних систем сортування відзначає розвиток глибокого навчання, багатосенсорних систем та необхідність підвищення масштабованості й надійності алгоритмів. Отже, конструкція машини повинна проєктуватися разом із системою керування, а не як ізольований механічний об'єкт.

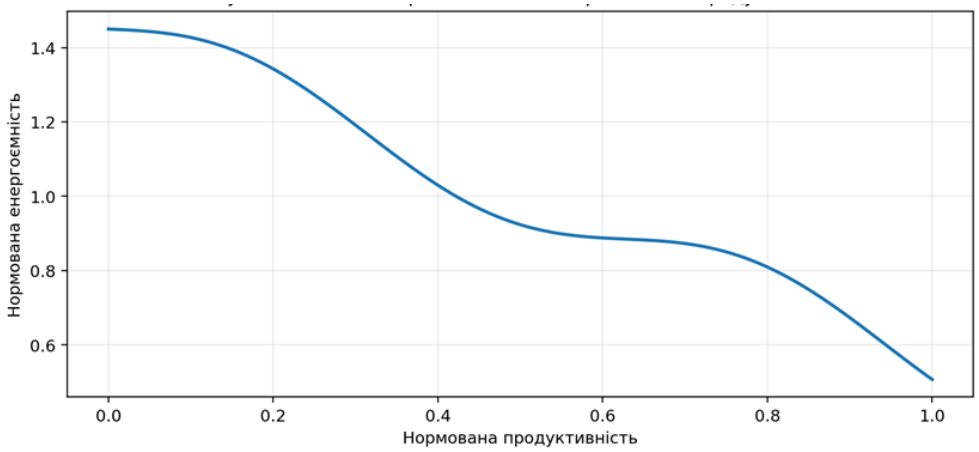



Рисунок 2. Умовна Парето-множина енергоємність–продуктивність

Комплексна оптимізація машин для переробки плодоовочевої сировини має охоплювати конструктивні, технологічні, енергетичні та якісні показники. Найбільш доцільним є формування багатокритеріальної задачі, у якій продуктивність, енергоємність, втрати та якість розглядаються одночасно. Використання сенсорів, машинного зору та автоматичного регулювання розширює можливості адаптації обладнання до змінних властивостей сировини. Для промислових ліній перспективним є застосування цифрових моделей і алгоритмів пошуку компромісних рішень, що дозволяють підвищити гнучкість та ефективність роботи обладнання.

Результати можуть бути використані для побудови адаптивних машинних ліній, у яких режими роботи автоматично коригуються залежно від властивостей плодоовочевої сировини та поточних технологічних показників.

## Список використаних джерел

1. Chakraborty S. K. et al. AI-enabled farm-friendly automatic machine for washing, image-based sorting, and weight grading of citrus fruits: design optimization, performance evaluation, and ergonomic assessment. Journal of Field Robotics. 2023. Vol. 40, No. 6. P. 1581–1602. DOI: 10.1002/rob.22193.

2. Bortolotti G. et al. A computer vision system for apple fruit sizing by means of low-cost depth camera and neural network application. Precision Agriculture. 2024. Vol. 25. P. 2740–2757. DOI: 10.1007/s11119-024-10139-8.

3. Development of an optimally designed real-time automatic citrus fruit grading-sorting machine leveraging computer vision-based adaptive deep learning model. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2023. Vol. 120. Art. 105826. DOI: 10.1016/j.engappai.2023.105826.

4. Advancements in machine visions for fruit sorting and grading: A bibliometric analysis, systematic review, and future research directions. Journal of Agriculture and Food Research. 2024. Vol. 16. Art. 101154. DOI: 10.1016/j.jafr.2024.101154.

5. Integrated, multi-scale and multi-objective design of batch food processing plants. Part 2: Application to a mobile fruit and vegetable processing unit. Food and Bioproducts Processing. 2024. Vol. 144. P. 61–74. DOI: 10.1016/j.fbp.2024.01.004.

***Abstract:*** *An approach to integrated optimization of structural and technological parameters of machines for fruit and vegetable processing is proposed. The relationships among throughput, quality, energy consumption, raw-material losses and process flexibility are considered. Multi-objective optimization is substantiated by linking equipment parameters with operating modes and raw-material properties. The integration of mathematical models, sensor-based monitoring and automatic control is identified as a promising direction.*

***Keywords:*** *fruit and vegetable raw materials, processing equipment, optimization, throughput, energy efficiency, sorting, automation*

**Науковий керівник:**
**Садовий О.С.**
*Канд. техн. наук, доцент*
*Миколаївський національний аграрний університет*