

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-3-23>

УДК 664-93

К. О. Самойчук<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.

ORCID: 0000-0002-3423-3510

О. А. Тітова<sup>1</sup>, д-р пед. наук, проф.

ORCID: 0000-0002-6081-1812

О. А. Дьомін<sup>1,3</sup>, д-р пед. наук, доц.

ORCID: 0000-0002-3907-0992

Д. В. Дмитревський<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук, доц.

ORCID: 0000-0003-1330-7514

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного<sup>2</sup>Державний біотехнологічний університет<sup>3</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України

e-mail: dmitrevskyidv@gmail.com

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТА КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ АПАРАТІВ ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

*Анотація.* У статті розглядаються проблеми оптимізації параметрів та конструктивних рішень апаратів для термічної обробки харчових продуктів. Проаналізовано сучасні тенденції розвитку обладнання, зокрема підвищення енергоефективності, забезпечення рівномірності теплопередачі та дотримання санітарно-гігієнічних вимог. Визначено основні проблеми традиційних конструкцій, серед яких – нерівномірний нагрів продукту, висока енергоємність та утворення відкладень на поверхнях теплообміну. Розглянуто сучасні підходи до вирішення цих проблем, зокрема використання обчислювальної гідродинаміки, методу скінченних елементів, багатокритеріальної оптимізації та використання інноваційних матеріалів. Аналіз дає змогу виявити перспективні напрями вдосконалення апаратів, інтеграції інноваційних технологій та підвищення ефективності термічної обробки, що забезпечує поліпшення якості продукції, зниження енергоспоживання та підвищення конкурентоспроможності харчових підприємств.

*Ключові слова:* тепла обробка, оптимізація апаратів, енергоефективність, CFD, FEM, інноваційні матеріали, багатокритеріальна оптимізація, санітарно-гігієнічні вимоги, рівномірність нагріву, харчова безпечність.

*Постановка проблеми.* Сучасна харчова промисловість характеризується високими вимогами до якості, безпечності та енергоефективності виробничих процесів. Одним із ключових етапів у технологічних ланцюгах більшості підприємств є тепла обробка, яка забезпечує досягнення необхідних споживчих характеристик продукту, його мікробіологічну стабільність, подовження терміну зберігання та формування органолептичних властивостей. Разом із тим тепла обробка є складним багатофакторним процесом, від якого значною мірою залежить як якість готової продукції, так і економічні показники діяльності підприємства. Проблема оптимізації апаратів для теплової обробки харчових продуктів полягає у пошуку балансу між низкою суперечливих вимог. З одного боку, необхідним є забезпечення рівномірного та контрольованого теплопередавання, що дає змогу досягати заданих технологічних параметрів процесу. З іншого боку, важливими є збереження харчової цінності та органолептичних характеристик продукту, мінімізація енергетичних витрат і втрат сировини, підвищення надійності та довговічності обладнання, а також створення конструкцій, здатних адаптуватися до різних видів сировини та режимів роботи [1].

У практиці харчової інженерії застосовуються різні типи апаратів для нагрівання, пастеризації, стерилізації, варіння, смаження чи сушіння продукції. Однак навіть у межах одного процесу існує велика кількість варіацій конструкцій, матеріалів та режимів роботи, що робить завдання вибору оптимальних рішень надзвичайно складним. Більшість традиційних апаратів



тів створювалася на основі емпіричних підходів, які в сучасних умовах уже не забезпечують достатньої ефективності та відповідності стандартам енергозбереження й екологічної безпеки. Однією з найбільш поширених проблем є нерівномірний розподіл температури у робочих зонах апаратів, що призводить до локальних перегрівів або недогріву продукту. Це, своєю чергою, негативно впливає як на якість кінцевого виробу, так і на безпечність його споживання. У разі недостатньої теплової обробки не досягається знищення патогенної мікрофлори, тоді як надмірний перегрів спричиняє втрату харчової цінності через руйнування вітамінів і біологічно активних речовин [2].

Ще одним суттєвим аспектом є висока енергоємність теплових процесів. За даними сучасних досліджень, частка витрат енергії на теплову обробку у харчовому виробництві може сягати від 30% до 60% від загальних енергетичних витрат. Використання застарілого обладнання з низьким коефіцієнтом теплопередачі спричиняє перевитрати пари, електроенергії чи газу, що ускладнює досягнення належної економічної ефективності виробництва. У цьому контексті особливої актуальності набуває застосування методів математичного моделювання та оптимізації, які дають змогу прогнозувати ефективність роботи апаратів ще на етапі проектування й тим самим скорочувати витрати ресурсів у подальшій експлуатації [3].

Водночас важливим чинником, який необхідно враховувати під час створення та вдосконалення апаратів для теплової обробки, є їх гігієнічність. Сучасні вимоги до харчових виробництв передбачають не лише високу ефективність теплопередачі, а й простоту миття та дезінфекції обладнання. Наявність застійних зон чи конструктивно складних ділянок ускладнює санітарну обробку та сприяє накопиченню залишків сировини й мікроорганізмів, що створює ризики мікробіологічного забруднення продукції. Саме тому під час оптимізації апаратів слід враховувати принципи санітарного дизайну, що набувають дедалі більшого поширення у міжнародній практиці харчового машинобудування [4].

Окремої уваги потребує й проблема універсалізації обладнання. Сучасні підприємства харчової галузі зазвичай працюють із широким асортиментом сировини та готової продукції, що вимагає високої гнучкості технологічних ліній. Це, своєю чергою, зумовлює потребу у створенні апаратів із можливістю швидкої зміни режимів роботи, регулювання температури, тиску та часу обробки, а також забезпечення адаптації конструкцій до різних масштабів виробництва. Таким чином, універсальність стає важливою характеристикою, яка визначає конкурентоспроможність обладнання [5].

Матеріали, що використовуються у конструкції теплових апаратів, також суттєво впливають на ефективність їхньої роботи. Вибір матеріалу визначає корозійну стійкість, довговічність і гігієнічність обладнання, а також теплопровідність, яка безпосередньо впливає на інтенсивність теплопередачі. Використання високоякісних нержавіючих сталей чи сучасних композитів забезпечує тривалий термін експлуатації та високі показники ефективності, проте значно підвищує вартість обладнання, що потребує економічного обґрунтування і пошуку компромісних рішень між вартісними та експлуатаційними характеристиками [6].

Аналіз сучасного стану проблеми свідчить, що існуючі конструкції апаратів для теплової обробки харчових продуктів часто не відповідають комплексним вимогам інноваційної харчової промисловості. Традиційні методи проектування не враховують у повному обсязі мультифакторність теплових процесів, а експериментальні дослідження є надто затратними за часом і ресурсами. У зв'язку із цим виникає потреба в упровадженні сучасних методів математичного та комп'ютерного моделювання, а також у застосуванні оптимізаційних алгоритмів, які дають можливість визначати раціональні конструктивні параметри та режими роботи апаратів.

Таким чином, проблема оптимізації параметрів і конструктивних рішень апаратів для теплової обробки харчових продуктів має комплексний характер і включає технічні, технологічні,



енергетичні, економічні та санітарно-гігієнічні аспекти. Її вирішення дасть змогу підвищити ефективність виробничих процесів, знизити енергетичні витрати, поліпшити якість і безпечність харчової продукції, а також зміцнити конкурентоспроможність підприємств на ринку.

*Аналіз останніх досліджень.* За останні роки спостерігається помітне розширення застосування методів чисельного моделювання, зокрема Computational Fluid Dynamics (CFD), для аналізу теплопередавання, гідродинаміки та температурного поля в апаратах різного типу – від пастеризаторів і стерилізаторів до сушарок та конвекційних печей. Роботи останніх років демонструють, що CFD-моделі дають змогу отримувати детальні карти температурних градієнтів і полів швидкостей, що суттєво підвищує точність прогнозів щодо рівномірності обробки та ідентифікації «гарячих» і «холодних» зон, які важко виявити експериментально. Підхід активно використовується для верифікації конструктивних рішень і попереднього відбору режимів до проведення ресурсомістких випробувань на прототипах.

Другий важливий тренд пов'язаний з енергоефективністю процесів теплової обробки. Комплексні огляди останніх років зосереджено на впровадженні систем відновлення тепла, інтеграції теплових насосів, оптимізації режимів роботи та застосуванні теплових акумуляторів. Праці 2023–2024 рр. підкреслюють, що модернізація теплообмінних поверхонь, запобігання відкладенням і застосування регенеративних схем дають змогу суттєво знизити питомі енергозатрати апаратів. При цьому наголошується на необхідності економічної оцінки інвестицій у дорожчі конструктивні рішення, адже економічний ефект реалізується лише за достатньої інтенсивності виробництва й оптимального графіку експлуатації [7].

Третій напрям стосується санітарно-гігієнічного дизайну та проблеми відкладень (fouling), які безпосередньо впливають на теплопередачу й безпечність продукту. Останні дослідження аналізують не лише конструктивні методи мінімізації застійних зон і забезпечення доступності поверхонь для миття, а й розробляють підходи до прогнозування і вимірювання відкладень у різних типах обладнання. Наукові публікації підкреслюють взаємозв'язок між дизайном поверхонь, умовами потоку й тенденцією утворення накипу, що робить необхідним інтегроване моделювання гідродинаміки і процесів наростання відкладень за оптимізації апарата [8].

Четвертий напрям – інноваційні альтернативні технології включно з нетепловими методами (плазма, високовольтні імпульси, ультразвук, мікрохвильова та омична обробка), які останнім часом активно досліджуються як засоби зниження енерговитрат і збереження якості продукту. Огляди останніх років показують зростаючий інтерес до комбінованих схем, які поєднують традиційну термічну обробку з нетепловими інтервенціями для досягнення мікробіологічної стабільності за меншого термічного навантаження. При цьому підкреслюється, що широке впровадження таких підходів потребує додаткових досліджень із погляду масштабування, безпеки і стандартизації [9].

Нарешті, у прикладних дослідженнях останніх років посилено увагу приділяють чисельним і експериментальним дослідженням конкретних апаратних рішень: моделювання та оптимізація омичних нагрівачів, симуляції стерилізації у безперервних лініях, оптимізація геометрії теплообмінників і режимів сушіння. Ці роботи демонструють прагнення інтегрувати математичні методи оптимізації (включно з методами багатокритеріальної оптимізації) та валідацію на експерименті для отримання збалансованих рішень за критеріями якості продукту, енерговитрат і гігієни. Приклади успішних застосувань CFD і алгоритмів оптимізації у процесі розроблення апаратів підтверджують ефективність цифрового підходу в інженерному проектуванні [10].

Підсумовуючи, сучасна наукова література демонструє поступ від емпіричних методів до інтегрованих цифрових підходів, що поєднують CFD-моделювання, оптимізаційні алгоритми, енергетичний аналіз і принципи санітарного дизайну. Водночас наголошується, що для прак-



тичного впровадження необхідні стандартизовані процедури валідації моделей, економічна оцінка інвестицій і міждисциплінарні дослідження, що поєднують інженерні, мікробіологічні та економічні аспекти.

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Метою статті є обґрунтування та оптимізація параметрів і конструктивних рішень апаратів для теплової обробки харчових продуктів з урахуванням енергетичних, технологічних та санітарно-гігієнічних вимог. Завданнями дослідження є аналіз сучасних тенденцій у проектуванні та експлуатації теплового обладнання, визначення ключових проблем нерівномірності теплопередачі та енергоємності процесів, а також розроблення підходів до підвищення ефективності й безпеки теплової обробки шляхом застосування методів математичного моделювання та оптимізації.

*Основна частина.* Теплова обробка харчових продуктів є одним із найважливіших етапів технологічних процесів у харчовій промисловості, адже вона визначає як безпечність продукції, так і її органолептичні характеристики, харчову цінність та термін зберігання. Саме завдяки контрольованому нагріванню та підтриманню необхідних температурних режимів забезпечуються інактивація патогенної мікрофлори, денатурація небажаних білків і ферментів, формування текстури та кольору продукту, а також створюються умови для подальшої переробки або тривалого зберігання. Водночас процес теплової обробки є надзвичайно складним із погляду енергетичних витрат, рівномірності розподілу тепла, конструктивної реалізації апаратів та дотримання санітарно-гігієнічних вимог. У сучасних умовах, коли зростає конкуренція на ринку харчових продуктів і підвищуються вимоги до якості та безпеки, питання оптимізації параметрів та конструктивних рішень апаратів для теплової обробки набуває стратегічного значення [11].

З історичного погляду обладнання для теплової обробки пройшло тривалий шлях розвитку – від простих відкритих котлів і печей до складних автоматизованих теплообмінних установок і стерилізаційних систем, здатних працювати в безперервному режимі. У міру розвитку харчових технологій та зростання вимог до гігієнічності й енергоефективності поступово змінювалися і підходи до проектування апаратів. Якщо раніше основним завданням було досягнення необхідної температури в усьому обсязі продукту, то сьогодні на перший план виходять питання збереження біологічної цінності харчових компонентів, скорочення тривалості обробки, зниження енерговитрат і можливість інтеграції процесів у гнучкі виробничі лінії. Це означає, що оптимізація має охоплювати одночасно конструктивні, технологічні, енергетичні та санітарні аспекти.

Однією з головних проблем є нерівномірність розподілу тепла всередині апарата та самого продукту. Утворення зон із надмірним нагріванням і зон із недостатнім прогрівом призводить до того, що одні частини продукту зазнають утрат у харчовій цінності через руйнування термолабільних вітамінів, тоді як інші можуть залишатися мікробіологічно небезпечними. Особливо це стосується продуктів із високою в'язкістю або неоднорідною структурою, де тепло передається повільніше. Нерівномірність нагріву також є наслідком недосконалої конструкції апаратів, коли геометрія теплообмінних поверхонь чи розташування теплоносія не забезпечують рівномірного розподілу потоків. Для вирішення цієї проблеми використовуються як інженерні підходи до вдосконалення конструкцій, так і методи математичного моделювання, які дають змогу прорахувати поведінку потоків та температурних полів ще на етапі проектування.

Не менш актуальним завданням є зниження енерговитрат. Відомо, що теплова обробка може становити від третини до половини всіх енерговитрат підприємства, тому будь-які заходи, спрямовані на підвищення ефективності теплопередачі, мають вагоме економічне значення. Енергоефективність забезпечується за рахунок використання сучасних теплообмінних поверхонь із високими коефіцієнтами теплопередачі, оптимізації режимів роботи апаратів, впровадження





систем рекуперації та регенерації тепла, використання багатоступеневих схем підігріву й охолодження. Додатковим чинником, що впливає на ефективність, є відкладення на теплообмінних поверхнях, які знижують інтенсивність теплопередачі. Ця проблема вирішується завдяки застосуванню спеціальних матеріалів і покриттів, а також автоматизованих систем миття, які дають змогу швидко й ефективно очищати обладнання.

Санітарно-гігієнічні вимоги є ще одним визначальним чинником у проектуванні теплових апаратів. Усі конструктивні елементи мають бути виконані так, щоб уникати утворення застійних зон, щілин і нерівностей, де може накопичуватися забруднення. Сучасний підхід до так званого санітарного дизайну передбачає застосування нержавіючої сталі з високою стійкістю до корозії, полірованих поверхонь, конструкцій із мінімальною кількістю з'єднань і зварювальних швів. Також широко впроваджуються системи СІР-миття (cleaning-in-place), які дають змогу очищати апарати без їх розбирання, що значно скорочує час простою та забезпечує стабільний рівень гігієнічності.

Сучасні дослідження у сфері матеріалознавства відкривають нові можливості для підвищення ефективності теплових апаратів. Поряд із традиційними нержавіючими сталями дедалі більше уваги приділяється композитним матеріалам, а також нанопокриттям, здатним підвищувати теплопровідність, знижувати коефіцієнт тертя, запобігати корозії та утворенню відкладень. Використання таких матеріалів може подовжувати термін служби апаратів, зменшувати витрати на обслуговування та забезпечувати стабільність технологічних параметрів протягом усього періоду експлуатації.

У контексті оптимізації особливого значення набувають методи математичного моделювання, які дають змогу прогнозувати поведінку теплових процесів у різних умовах. Найпоширенішим підходом є обчислювальна гідродинаміка, яка дає змогу побудувати тривимірну модель апарата, змоделювати розподіл потоків і температурних полів та визначити критичні зони, де виникають застійні явища або нерівномірний прогрів. CFD-моделювання використовується як для оптимізації вже існуючих конструкцій, так і для розроблення принципово нових рішень. Окрім того, у практиці проектування застосовуються метод кінцевих елементів, методи теплового аналізу, математичні моделі динаміки процесів.

Оптимізація теплових апаратів є багатокритеріальним завданням, оскільки необхідно одночасно враховувати низку цілей: мінімізацію енерговитрат, забезпечення рівномірності нагрівання, збереження біологічної цінності продукту, відповідність санітарним нормам і зниження капітальних та експлуатаційних витрат. Для цього застосовуються методи математичної оптимізації: лінійне та нелінійне програмування, генетичні алгоритми, алгоритми рою частинок, комбінаторні підходи. Використання еволюційних алгоритмів є особливо ефективним у разі, коли завдання не має єдиного оптимального рішення, а потребує пошуку компромісу між кількома критеріями [12].

Окремим напрямом розвитку є впровадження інноваційних технологій теплової обробки, які дають змогу зменшувати час і температуру нагрівання, забезпечуючи при цьому мікробіологічну безпеку та збереження корисних властивостей продуктів. До таких технологій належать мікрохвильова обробка, омичний нагрів, обробка високим тиском, ультразвукова та плазмова обробка. Кожна із цих технологій має свої переваги й недоліки, однак спільною рисою є скорочення тривалості процесу та підвищення його ефективності. Водночас упровадження цих методів потребує створення нових конструкцій апаратів, здатних витримувати нетрадиційні режими роботи, а також комплексних досліджень щодо впливу на якість і безпечність продукції.

Результати проведеного аналізу свідчать, що сьогодні ключовими проблемами залишаються нерівномірність теплопередачі, висока енергоємність процесів, складність забезпечення сані-



тарних вимог та потреба у використанні сучасних матеріалів. Вирішення цих проблем можливе шляхом інтеграції інженерних рішень із сучасними інформаційними технологіями, що дає змогу моделювати поведінку систем ще на етапі проєктування й уникати помилок у реальній експлуатації. Методи CFD-моделювання у поєднанні з алгоритмами оптимізації дають змогу значно скоротити витрати на експериментальні дослідження й створювати конструкції нового покоління.

Таким чином, розвиток апаратів для теплової обробки харчових продуктів має здійснюватися у напрямі комплексної оптимізації, яка включає вдосконалення конструктивних рішень, підвищення енергоефективності, забезпечення санітарних вимог, використання нових матеріалів, упровадження комп'ютерного моделювання та сучасних методів оптимізації. Тільки за умови інтеграції усіх цих підходів можливо створювати обладнання, яке відповідатиме високим стандартам якості та безпечності продукції, зменшуватиме витрати підприємств і сприятиме їхній конкурентоспроможності на глобальному ринку. Перспективним напрямом є також упровадження цифрових двійників теплових апаратів, які дають змогу в режимі реального часу відстежувати параметри роботи, прогнозувати поведінку системи та своєчасно вносити корективи в її функціонування. Це відкриває нові горизонти для інтеграції харчового виробництва в концепцію Індустрії 4.0, де ключову роль відіграють автоматизація, гнучкість та інтелектуальні технології управління.

*Висновки.* Проведене дослідження підтверджує, що оптимізація параметрів та конструктивних рішень апаратів для теплової обробки харчових продуктів є багатофакторним завданням, яке охоплює технологічні, енергетичні, санітарно-гігієнічні та матеріалознавчі аспекти. Аналіз сучасного стану розвитку обладнання засвідчив, що ключовими проблемами залишаються нерівномірність теплопередачі, висока енергоємність процесів, утворення відкладень на теплообмінних поверхнях, а також складність забезпечення стабільної відповідності санітарним вимогам. Водночас перспективними напрямками їх вирішення є впровадження вдосконалених конструктивних рішень, застосування сучасних матеріалів і покриттів, використання рекуперативних та регенеративних систем, а також інтеграція інноваційних технологій теплової обробки.

Важливим результатом аналізу стало підтвердження високої ефективності використання методів комп'ютерного моделювання, зокрема обчислювальної гідродинаміки, методу кінцевих елементів та математичного аналізу теплових процесів, які дають змогу проєктувати апарати з урахуванням критичних зон і мінімізувати експериментальні витрати. Додаткову цінність має застосування еволюційних та багатокритеріальних алгоритмів оптимізації, що забезпечує пошук збалансованих технічних і технологічних рішень.

Таким чином, подальший розвиток апаратів для теплової обробки продуктів має ґрунтуватися на інтеграції інженерних, інформаційних і матеріалознавчих підходів, що відкриває можливість для створення обладнання нового покоління. Такі апарати відповідатимуть високим міжнародним стандартам якості та безпеки, сприятимуть енергоощадності виробництва й підвищуватимуть конкурентоспроможність харчової промисловості у глобальному масштабі.

#### Список використаних джерел

1. Iskakova G., Kizatova M., Baiysbayeva M., Azimova S., Izembayev A., Zharylkassynova Z. Justification Of Pectin Concentrate Safe Storage Terms By Pectin Mass Ratio. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 4(11–112), 25–32. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237940>.
2. Samoichuk K., Yalpachyk V., Kholobtseva I., Dmytrevskyi D., Chervonyi V. Design Improvement of the Rotary-Pulsation Device by Resonance Phenomena. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. pp 74–83. (Czech Republic). DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_7).



3. Samokhvalova O., Cherevko O., Dmytrevskiy D., Budnyk N., Fomina I., Gurskiy P., Sova N., Koshulko V., Tesliuk Y., Kolianovska L. Determination of the features of the use of three-component vegetable and fruit paste in marmalade technology / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies / Technology and equipment of food production*. Vol. 5, no 6 (132) 2024. pp. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.317571>.
4. Dmytrevskiy D., Horielkov D., Chervonyi V., Sefikhanova K., Rybchuk L. Investigation of the Process of Making Applesauce and Development the Device for its Implementation. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VIII. Proceedings of the 8th International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2025, June 17–20, 2025, Porto, Portugal-Volume 2: Mechanical Engineering*. pp. 13–27. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-95218-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-95218-0_2).
5. Jia T., Zeng J., Gao H., Jiang J., Zhao J., Su T., Sun, J. Effect of pectin on properties of potato starch after dry heat treatment. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. 2019. 18(7), 1375–1384. DOI: <https://doi.org/10.4314/tjpr.v18i7.2>.
6. Cherevko O.I., Deinychenko G.V., Dmytrevskiy D.V., Guzenko V.V., Heiier H.V., Tsvirkun L.O. Application of membrane technologies in modern conditions of juice production. *Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2020. Вип. 2(32). С. 67–77. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4369743>.
7. Deinychenko G.V., Dmytrevskiy D.V., Zolotukhina I.V., Perekrest V.V., Guzenko V.V. Directions of improvement of processes of membrane separation of juices from fruit and berry raw materials. *Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2021. Вип. 1(33). С. 89–98. DOI: [doi.org/10.5281/zenodo.5036090](https://doi.org/10.5281/zenodo.5036090).
8. Сучасні технології баромембранних процесів у харчовій промисловості / Г.В. Дейниченко та ін. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2021. № 2(43). С. 86–93. DOI: <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2021-43-2-86-93>.
9. David Durán-Aranguren, D., Juliana Alméciga Ramírez, C., Catalina Villabona Díaz, L., Ayalde Valderrama, M., & Sierra, R. Production of Pectin from Citrus Residues: Process Alternatives and Insights on Its Integration under the Biorefinery Concept. *Pectins – The New-Old Polysaccharides. IntechOpen*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.100153>.
10. Дейниченко Г.В., Дмитревський Д.В., Гузенко В.В., Афукова Н.О. Аналіз застосування мембранних апаратів для виробництва соків із плодової сировини. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. С. 36–43. DOI: <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2021-21-1-36-43>.
11. Апаратурно-технологічні аспекти виробництва функціональних плодово-ягідних паст для пастильно-мармеладних виробів / В.М. Михайлов та ін. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2024. Т. 30. № 6. С. 99–109. DOI: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2024-30-6-10>.
12. Zagorulko A., Kasabova K., Shevchenko A., Dmytrevskiy D., Levchenko Y., Kalashnyk O., Koshulko V., Gromov A. Determining the heat and mass exchange efficiency of a scraper heat exchanger for heating food semi-finished products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2025. 4(11 (136), 25–32. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.335509>.

Стаття надійшла до редакції 29.03.2025

Стаття прийнята 20.09.2025

Статтю опубліковано 25.11.2025





**K. Samoichuk<sup>1</sup>, O. Titova<sup>1</sup>, O. Domin<sup>1,3</sup>, D. Dmytrevskiy<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University*

*<sup>2</sup>State Biotechnological University*

*<sup>3</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

## **OPTIMIZATION OF PARAMETERS AND DESIGN SOLUTIONS OF DEVICES FOR THE HEAT PROCESSING OF FOOD PRODUCTS**

### *Summary*

The article highlights the current issues of optimizing parameters and design solutions for food thermal processing equipment, which play a crucial role in increasing the efficiency of production processes in the food industry. An analysis of modern trends in equipment development is presented, with special attention given to improving energy efficiency, ensuring uniform heat transfer, and strictly meeting sanitary and hygienic standards. The main drawbacks of traditional thermal equipment designs are outlined, including uneven temperature distribution within working volumes, high energy consumption of processes, and the formation of deposits on heat exchange surfaces, which complicate operation and reduce equipment durability. It is shown that overcoming these limitations requires the implementation of innovative approaches to the design, calculation, and construction of equipment. The potential of computational fluid dynamics for modeling coolant flows and predicting heat and mass transfer processes is considered, as well as the finite element method for analyzing the stress-strain state of structures, and multi-criteria optimization, which makes it possible to combine the requirements of energy efficiency, productivity, and reliability. Particular attention is paid to the prospects of using advanced materials with enhanced thermal conductivity and corrosion resistance, capable of reducing deposits and extending service life. The generalization of the analysis makes it possible to identify key directions for improving food thermal processing equipment, which include the integration of innovative technologies, reduction of energy consumption, and enhancement of technological flexibility. This, in turn, contributes to improving the quality of final products, increasing the economic efficiency of production, and strengthening the competitive position of food enterprises in both domestic and international markets.

**Keywords:** heat treatment, apparatus optimization, energy efficiency, CFD, FEM, innovative materials, multi-criteria optimization, sanitary and hygienic requirements, heating uniformity, food safety.