УДК 637.513.4
https://doi.org/10.31548/humanhealth.4.2026.07

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЕННЯ ЗАМОРОЖЕНОЇ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ НА ОСНОВІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ОБЛАДНАННЯ

Віктор Володимирович Сарана
кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-5102-2264
Володимир Павлович Василів
кандидат технічних наук, доцент
03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0002-2109-0522
Михайло Михайлович Муштрук
кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-3646-1226
Максим Миколайович Гудзенко
кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0001-7959-3627
Марія Михайлівна Жеплінська
https://orcid.org/0000-0002-7286-3003
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України
03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна

Анотація. Подрібнення замороженої м'ясної сировини є важливою технологічною операцією у виробництві м'ясних продуктів, ефективність якої залежить від конструктивних особливостей обладнання, його продуктивності, енерго- та металоємності, а також можливості забезпечення необхідного ступеня подрібнення. Значна різноманітність промислових вовчків-дробарок та відмінності їхніх техніко-технологічних характеристик зумовлюють необхідність комплексного підходу до вибору обладнання для конкретних умов переробки м'ясної сировини.

Метою роботи було обґрунтування раціонального вибору обладнання для подрібнення замороженої м'ясної сировини на основі багатокритеріальної оцінки його техніко-технологічних і ресурсних показників.

Об'єктами дослідження були промислові моделі вовчків-дробарок, що відрізняються конструкцією подавальних шнеків, подрібнювальних вузлів, різальних комплектів і параметрами вихідних решіток. Для порівняльної оцінки обладнання використано показники пропускної енергоємності та пропускної маси, а також коефіцієнти енерго- і металоємності. Визначення ефективних альтернатив здійснювали за принципом домінування Парето. Для інтегральної оцінки та встановлення раціонального варіанта застосовано метод відстані до цілі з урахуванням коефіцієнтів значущості окремих критеріїв.

Установлено, що для досліджених моделей вовчків-дробарок пропускна енергоємність знаходиться в межах 0,22–0,564 кВт/мм, а пропускна маса – 5,6–20 кг/мм. Значення коефіцієнта енергоємності становлять 0,00925–0,03 (кВт·год)/кг, а коефіцієнта металоємності – 0,293–1,6 (кг·год)/кг. За сукупністю досліджених критеріїв найменше значення відстані до ідеалізованого варіанта отримано для вовчка-дробарки GW 300 – 0,131. Ця модель характеризується раціональним співвідношенням досліджених ресурсних показників та забезпечує подрібнення сировини через вихідну решітку з отворами діаметром 15 мм. Для моделей GIGANT MEW 734 та CFS UniGrind значення показника відстані до цілі становлять

 Creative Commons Attribution 4.0 International Public License

відповідно 0,385 та 0,369. Водночас конструктивні особливості їхніх подавальних і подрібнювальних механізмів забезпечують можливість подрібнення замороженої м'ясної сировини через вихідну решітку з отворами 3 мм.

Запропонований багатокритеріальний підхід дає змогу обґрунтовано здійснювати вибір обладнання для подрібнення замороженої м'ясної сировини з урахуванням необхідного ступеня подрібнення, продуктивності, енерго- та металоємності. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування та модернізації технологічних ліній переробки м'ясної сировини з метою підвищення ресурсоефективності технологічного процесу.

Ключові слова: вовчок-дробарка, метод відстані до мети, метод Парето, багатокритеріальний аналіз.

UDC 637.513.4
https://doi.org/10.31548/humanhealth.4.2026.07

CONDITIONING OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF DETAILED FROZEN MEAT PRODUCTS BASED ON A RICH CRITERION EVALUATION OF THE EQUIPMENT

Viktor Sarana
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0002-5102-2264
Volodymyr Vasyliv
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0002-2109-0522
Mikhailo Mushtruk
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0002-3646-1226
Maksym Hudzenko
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0001-7959-3627
Marija Zheplinska
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0002-7286-3003
National University of Life and Environment Sciences of Ukraine
03041, Heroiv Oborony str. 15, Kyiv, Ukraine

Abstract. Detailed freezing of meat is an important technological operation in the production of meat products, the effectiveness of which depends on the design features of the equipment, its productivity, the energy of the metal capacity, as well as the ability to ensure the necessary level of detailing. The significant diversity of industrial milling machines and their technical and technological characteristics necessitate an integrated approach to selecting equipment for the specific needs of meat processing.

The purpose of the work was to establish a rational choice of equipment for the production of frozen meat products based on a rich criteria assessment of its technical, technological, and resource indicators.

The objects of investigation were industrial crusher models that differed in the designs of feed augers, finishing assemblies, and cutting sets, as well as in the parameters of the output grids. For an equal assessment of power supply capacity, the indicators of energy throughput capacity, mass throughput, and the energy-to-metal capacity coefficient are considered. The importance of effective alternatives followed the Pareto dominance principle. For an integral assessment and the establishment of a rational option, a method has been developed to determine the significance of other

criteria. It has been established that for the latest crusher models, the energy capacity ranges from 0.22–0.564 kW/mm, and the mass capacity ranges from 5.6–20 kg/mm. The values of the energy intensity coefficient become 0.00925–0.03 (kW year)/kg, and the metal capacity coefficient – 0.293–1.6 (kg year)/kg. Based on the following criteria, the lowest value between the idealized option and the crusher GW 300 was 0.131. This model is characterized by rational tracking of resource indicators and will provide detailed information via the exit grid, with openings 15 mm in diameter. For the GIGANT MEW 734 and CFS UniGrind models, the indicator values reach the targets of approximately 0.385 and 0.369, respectively. At the same time, the design features of their feeding and processing mechanisms enable the processing of frozen meat products through an outlet grid with 3 mm openings.

Using a rich-criteria approach, it is possible to ensure the selection of equipment for processing frozen meat products while maintaining the necessary levels of processing, productivity, energy, and metal capacity. The results can be obtained during the design and modernization of technological lines for processing raw meat materials, using a method to increase the resource efficiency of the technological process.

Keywords: crusher, distance to the target method, Pareto method, multi-criteria analysis.

ВСТУП. М’ясо та продукти його переробки є важливими складовими продовольчого ринку України. Вагоме місце в структурі м’ясної продукції посідають ковбасні вироби та м’ясні делікатеси, обсяги виробництва й асортимент яких визначаються споживчим попитом, доступністю сировини та технологічними можливостями переробних підприємств. Davydova & Zozulyov (2021) відзначають позитивну динаміку розвитку українського ринку ковбасних виробів із щорічним приростом на рівні 2–3 %. Перспективним напрямом розвитку асортименту є також виробництво ковбасних виробів і м’ясних делікатесів із м’яса індички.

Розвиток м’ясопереробної галузі значною мірою пов’язаний із підвищенням технологічної ефективності виробництва та раціональним використанням сировинних і енергетичних ресурсів. Vlasenko та Semko (2021), Kovalenko та Lysenko (2018) наголошують на необхідності підвищення ефективності функціонування м’ясопереробних підприємств, тоді як Bal-Prylypko та ін. (2022) одним із напрямів їх розвитку визначають удосконалення технологій виробництва та рецептур м’ясних продуктів. Реалізація таких підходів потребує відповідного технічного забезпечення технологічних процесів.

Однією з основних операцій технологічного процесу виробництва м’ясних продуктів є подрібнення сировини. Особливого значення вибір режимів та обладнання набуває під час переробки замороженого м’яса, коли необхідно забезпечити заданий ступінь подрібнення за необхідної продуктивності та раціональних витрат енергетичних і матеріальних ресурсів. Промислові вовчки-дробарки суттєво відрізняються конструкцією подавальних механізмів, компонуванням шнеків, будовою різальних вузлів, продуктивністю, встановленою потужністю та параметрами кінцевого подрібнення. Це ускладнює вибір обладнання для конкретних технологічних умов лише за одним технічним або експлуатаційним показником.

Обґрунтування вибору обладнання для технологічних ліній м’ясопереробних підприємств потребує комплексного оцінювання сукупності його технічних, технологічних і ресурсних характеристик. Mormul et al. (2023) зазначають, що об’єктивність багатокритеріального вибору залежить від повноти сформованої системи критеріїв, обґрунтованості їхніх вагових коефіцієнтів і коректності процедури оцінювання альтернатив. Застосування такого підходу до обладнання для подрібнення замороженої м’ясної сировини дає змогу одночасно враховувати його продуктивність, технологічні можливості, енерго- та металоємність (Sarana & Sereda, 2023).

Таким чином, різноманітність конструктивних рішень сучасних вовчків-дробарок та відмінності їхніх техніко-технологічних характеристик зумовлюють необхідність комплексного оцінювання обладнання для визначення раціонального варіанта його застосування в технології переробки замороженої м’ясної сировини.

МЕТА РОБОТИ полягає у підвищенні технологічної ефективності процесу переробки м'яса шляхом вибору оптимального типу вовчка-дробарки з використанням методу багатокритеріального аналізу обладнання.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Подрібнення є однією з основних механічних операцій у технології м'ясних продуктів, оскільки визначає дисперсний склад сировини, характер руйнування м'язової тканини та умови проведення подальших технологічних операцій. Особливого значення параметри процесу набувають під час переробки замороженої м'ясної сировини, механічні властивості якої суттєво залежать від температури. Тому ефективність подрібнення необхідно розглядати комплексно, враховуючи не лише продуктивність обладнання, а й ступінь подрібнення, енергетичні витрати та конструктивні особливості робочих органів.

Berger et al. (2023) дослідили вплив температури та вмісту замороженого м'яса на структурні й функціональні характеристики м'ясної сировини під час виробництва м'ясних продуктів. Авторами встановлено, що збільшення частки замороженого м'яса знижує температуру оброблюваної маси та супроводжується зростанням питомої механічної енергії під час подрібнення. Це свідчить про безпосередній зв'язок температурного стану сировини з енергетичним навантаженням на подрібнювальне обладнання.

Вплив самого процесу подрібнення на властивості м'ясної сировини досліджували Berger et al. (2023a). Встановлено, що операції попереднього та основного подрібнення спричиняють найбільш виражені структурні зміни м'язової тканини серед досліджених технологічних операцій. Послідовне механічне оброблення збільшувало частку пошкоджених клітин і змінювало функціонально-технологічні характеристики м'яса. Отже, параметри подрібнення необхідно узгоджувати не лише з необхідною продуктивністю обладнання, а й із технологічними вимогами до отриманої м'ясної маси.

У роботі (Kryvoplias-Volodina et al., 2018) під час дослідження оптимізації обладнання деякі автори використовують математично-статистичні методи для аналізу техніко-технологічних характеристик основних компонентів машин. Під комплексом технологічних засобів розуміється набір взаємопов'язаних пристроїв для здійснення виробничого процесу.

Узагальнення сучасних досліджень процесу подрібнення м'яса проведено Berger et al. (2023a). Автори показали, що механічне навантаження на сировину під час її переміщення, стискання та проходження через різальний механізм може бути охарактеризоване питомою механічною енергією. Збільшення сил, що діють на м'ясну сировину, супроводжується більш інтенсивним руйнуванням її клітинної структури. При цьому властивості отриманого фаршу визначаються сукупною дією характеристик вихідної сировини, конструкції подрібнювального механізму та режимів процесу.

Важливим технологічним параметром є також розмір частинок після подрібнення. Аналіз сучасних досліджень впливу ступеня подрібнення показує, що зміна розміру частинок позначається на структурних і технологічних властивостях м'ясної сировини. Збільшення інтенсивності подрібнення супроводжується руйнуванням м'язових волокон і сполучної тканини, а також збільшенням площі поверхні сировини. Відповідно, вибір діаметра отворів вихідної решітки має визначатися технологічним призначенням подрібненої сировини та вимогами до структури конкретного виду м'ясного продукту.

Для замороженої блокової сировини особливо актуальним є зменшення кількості стадій подрібнення та питомих енерговитрат. Kapovsky et al. (2021) дослідили енергоощадну технологію одностадійного подрібнення заморожених блоків яловичини, свинини та колагеновмісної сировини методом фрезерування. Результати показали можливість поєднання декількох послідовних операцій традиційної технологічної схеми в одній машині. Автори встановили, що запропонований спосіб дає змогу знизити потребу у встановленій потужності порівняно з багатостадійною схемою подрібнення. Це підтверджує доцільність урахування

енергоємності як одного з критеріїв під час вибору обладнання для переробки замороженого м'яса.

Значний вплив на технологічну та енергетичну ефективність подрібнення має конструкція різального механізму. Bakiyeva et al. (2024) дослідили решітку м'ясоподрібнювальної машини зі змінним діаметром отворів та встановили вплив її конструкції на продуктивність процесу й споживану потужність. Використання експериментальної решітки забезпечувало зниження енергетичних витрат під час подрібнення різних видів м'яса. Отримані результати підтверджують, що конструктивні параметри різального комплекту необхідно враховувати під час комплексного оцінювання технологічної ефективності м'ясоподрібнювального обладнання.

Проблему подрібнення заморожених м'ясних блоків досліджували також Lisitsyn et al. (2017), які запропонували одностадійне тонке подрібнення замороженої сировини багатолезовим робочим органом. За результатами експериментальних досліджень автори встановили можливість отримання дрібнодисперсної м'ясної сировини без традиційної послідовності «блокорізка – вовчок – машина для тонкого подрібнення». Запропонована схема характеризувалася скороченням кількості технологічних операцій і зменшенням енергетичних витрат, що підтверджує перспективність конструктивного удосконалення обладнання для переробки замороженої сировини.

Одним із чинників, що визначають ефективність роботи вовчка, є взаємодія сировини з подавальним шнеком і різальним комплектом. Zhao та Sebranek (1997) встановили, що ефективність процесу залежить від температури м'яса, його попереднього розміру, вмісту жирової та сполучної тканин, конструкції ножів і решіток, а також тиску в зоні різання. Незважаючи на ранній період виконання цієї роботи, визначені авторами закономірності залишаються методологічно важливими для оцінювання сучасного м'ясоподрібнювального обладнання.

Таким чином, результати наукових досліджень свідчать, що ефективність подрібнення м'ясної сировини формується під комплексним впливом її температурного стану, конструкції подавальних і різальних механізмів, ступеня подрібнення, продуктивності та енергетичних характеристик обладнання. Особливо важливим є врахування цих факторів під час переробки заморожених м'ясних блоків, для яких підвищення опору різанню безпосередньо впливає на енергетичне навантаження процесу.

Водночас аналіз літературних джерел показав, що більшість досліджень зосереджена на окремих аспектах процесу: впливі температури сировини, конструкції різального механізму, ступеня подрібнення або енергетичних витратах. Недостатньо дослідженим залишається комплексне порівняння промислових вовчків-дробарок різних конструктивних схем за сукупністю технологічних і ресурсних критеріїв. Це обґрунтовує доцільність застосування багатокритеріального аналізу, який дає змогу одночасно врахувати продуктивність, ступінь подрібнення, енерго- та металоємність обладнання і визначити раціональний варіант для переробки замороженої м'ясної сировини.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Об'єктом дослідження був процес подрібнення замороженої м'ясної сировини на промислових вовчках-дробарках різного конструктивного виконання. Предмет дослідження – техніко-технологічні та ресурсні показники обладнання, що характеризують ефективність його застосування у технологічних лініях переробки замороженої м'ясної сировини.

Для порівняльного аналізу сформовано вибірку промислових вовчків-дробарок провідних виробників обладнання для м'ясопереробної промисловості: Karl Schnell, Laska, GEA, PSS, Marel, EKOMEX, Seydelmann та MaDo. Вихідні технічні характеристики досліджуваних моделей визначали за офіційною технічною документацією та каталогами виробників. Під час формування вихідного масиву даних враховували продуктивність обладнання, встановлену потужність електроприводів, масу машин, діаметр отворів вихідної

решітки, конструкцію та взаємне розташування подавальних і робочих шнеків, будову різального вузла та спосіб попереднього подрібнення заморожених м'ясних блоків.

Досліджувані вовчки-дробарки суттєво відрізняються конструктивною реалізацією стадії попереднього подрібнення замороженої м'ясної сировини. Залежно від конструкції машини попереднє руйнування м'ясного блоку може здійснюватися окремим блокорізальним механізмом, подавально-подрібнювальним шнеком або універсальним шнеком, який одночасно виконує функції подрібнення, транспортування та нагнітання сировини.

До першої конструктивної групи віднесено обладнання, в якому для попереднього руйнування заморожених м'ясних блоків застосовано окремий фрезерний механізм. У вовчку-дробарці KS 445 компанії Karl Schnell заморожені м'ясні блоки попередньо подрібнюються однофрезерною блокорізкою, розташованою всередині завантажувального бункера (Industrial catalog of Karl Schnell GmbH & CO. KG, 2023). У вовчку-дробарці WWG 2062 компанії Laska для виконання першої стадії процесу застосовано двофрезерну блокорізку (Industrial catalog of Maschinenfabrik Laska GmbH, 2023). Таким чином, у машинах цієї групи попереднє руйнування замороженого блоку конструктивно відокремлене від подальшого подрібнення сировини різальним вузлом вовчка.

До другої групи віднесено вовчки-дробарки, в яких реалізовано двоступеневий процес подрібнення із застосуванням подавально-подрібнювальних та робочих шнеків. Така конструктивна схема використовується у CFS AutoGrind та CFS PowerGrind компанії GEA (Industrial catalog of GEA Convenience-Food Technologies, 2023), SCG-200 компанії PSS (Industrial catalog of PSS, 2023) та COMBIgrind 200 компанії Marel (Industrial catalog of Marel, 2023). На першій стадії заморожений м'ясний блок руйнується подавально-подрібнювальним шнеком, після чого отримані шматки надходять до робочого шнека та різального вузла для подальшого подрібнення. Для зазначених моделей характерним є розташування подавально-подрібнювального шнека над робочим шнеком, паралельно його поздовжній осі.

Окремим варіантом двошнекової конструкції є перпендикулярне компонування подавально-подрібнювального та робочого шнеків. Така схема реалізована у вовчку-дробарці LASKA SuperGrinder WWB 300 (Industrial catalog of Maschinenfabrik Laska GmbH, 2023) та WW 300 компанії EKOMEX (Industrial catalog of EKOMEX, 2023). На відміну від машин із паралельним розташуванням шнеків, вісь подавально-подрібнювального шнека в цих моделях розташована перпендикулярно до осі робочого шнека. Це конструктивне рішення забезпечує інший напрям переміщення попередньо подрібненої сировини до основного робочого органу та було враховано під час порівняльної оцінки обладнання.

До третьої конструктивної групи віднесено вовчки-дробарки, в яких використовується один універсальний шнек, що поєднує функції попереднього подрібнення, транспортування та нагнітання сировини до різального вузла. Такий принцип реалізовано у CFS MaxiGrind HD компанії GEA (Industrial catalog of GEA Convenience-Food Technologies, 2023), Seydelmann GX 400 (Industrial catalog of Maschinenfabrik Seydelmann KG, 2023) та GIGANT MEW 734 компанії MaDo (Industrial catalog of MADO GmbH, 2023). Конструктивно універсальний шнек містить подрібнювальну ділянку в початковій частині та нагнітальну – у кінцевій. Завдяки цьому попереднє руйнування замороженого блоку, переміщення отриманої сировини та її подавання до різального комплекту здійснюються одним робочим органом.

Таким чином, для подальшого багатокритеріального аналізу досліджуване обладнання було систематизовано за трьома основними конструктивними схемами: з окремим фрезерним механізмом попереднього подрібнення; з двома шнеками паралельного або перпендикулярного компонування; з одним універсальним подрібнювально-нагнітальним шнеком. Така класифікація дала змогу врахувати не лише паспортні показники обладнання, а й особливості організації процесу подрібнення замороженої м'ясної сировини.

Для первинної порівняльної оцінки технічної досконалості вовчків-дробарок використовували показники пропускної енергоємності та пропускної маси. Додатково визначали коефіцієнти енергоємності та металоємності, що характеризують співвідношення

енергетичних і матеріальних характеристик обладнання та його продуктивності.

На першому етапі багатокритеріального аналізу для визначення сукупності ефективних альтернатив застосовували принцип домінування Парето. Варіант обладнання вважали Парето-ефективним, якщо покращення значення одного з критеріїв було неможливим без одночасного погіршення щонайменше одного з інших критеріїв. Застосування такого підходу дало змогу виключити з подальшого комплексного оцінювання неефективні варіанти обладнання та зосередити подальший аналіз на множині Парето-оптимальних рішень.

На заключному етапі для комплексного порівняння Парето-ефективних альтернатив застосовували метод відстані до цілі. Оцінювання здійснювали за нормованими значеннями критеріїв з урахуванням коефіцієнтів їхньої значимості. Основними критеріями при визначенні ресурсної ефективності обладнання були коефіцієнти енерго- та металоємності. За раціональний приймали варіант вовчка-дробарки, для якого розрахована відстань до умовного ідеалізованого варіанта набувала мінімального значення.

Застосована послідовність аналізу дала змогу провести порівняльне оцінювання вовчків-дробарок різного конструктивного виконання за єдиною системою техніко-технологічних і ресурсних критеріїв та визначити раціональні варіанти обладнання для подрібнення замороженої м’ясної сировини.

У дослідженні для визначення оптимальних технічних рішень застосовано методи багатокритеріальної оптимізації, що є актуальним підходом для задач економіки, управління та інженерії. На початковому етапі оцінка технічної досконалості обладнання проводилася за двома ключовими параметрами: енергоспоживанням та масою. Для цього були використані наступні критерії:

пропускна енергоємність:

$$E_D = \frac{N}{D}, \text{ кВт/мм} \tag{1}$$

пропускна маса:

$$E_m = \frac{m}{D}, \text{ кг/мм} \tag{2}$$

Для ідентифікації множини Парето-оптимальних варіантів, що є домінуючими та не домінуються іншими, застосовано метод Парето-аналізу, використовуючи принцип домінування (Gunko et al., 2019). Визначення межі Парето дозволяє суттєво зменшити обсяг варіантів для подальшого аналізу, хоча й не надає єдиного оптимального рішення. Для остаточного вибору найкращої моделі вовчка-дробарки застосовано інтегральний критерій відстані до ідеалу. Суть цього методу полягає у формуванні уявлення про ідеальний варіант, що характеризується найкращими можливими значеннями за кожним критерієм, та подальшому визначенні міри наближення кожного з розглянутих варіантів до цього ідеалу (Gunko et al., 2019). Для фінальної оцінки було обрано наступні критерії:

коефіцієнт енергоємності K_E, (кВт·год)/кг:

$$K_E = \frac{N}{Q}, \tag{3}$$

коефіцієнт металоємності K_M, (кг·год)/кг:

$$K_M = \frac{m}{Q}, \tag{4}$$

де Q – продуктивність обладнання, кг/год.

Враховуючи пріоритетність економії електроенергії при виборі механічного обладнання та другорядну важливість маси машини, для комплексної оцінки досконалості вовчків-

дробарок із використанням методу розставлення пріоритетів (Gevko et al., 2021) було встановлено вагові коефіцієнти для критеріїв: 0,6 для коефіцієнта енергоємності та 0,4 для коефіцієнта металоємності. Під час розрахунку показника відстані до ідеалу (μ) використовувалися нормовані значення критеріїв.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Основні технічні характеристики досліджуваних вовчків-дробарок систематизовано та наведено в таблиці 1. Для порівняння обладнання враховували його продуктивність, масу, діаметр решітки різального механізму, потужність приводів дробарки (шнека) і подрібнювального механізму, а також конструктивні особливості окремих моделей. Сукупність зазначених показників була використана для подальшої оцінки техніко-технологічної та ресурсної ефективності обладнання.

Таблиця 1. Технічні характеристики вовчків-дробарок

Марка вовчка-дробарки (фірма-виробник)	**Продуктивність Q, кг/год**	**Маса машини m, кг**	**Діаметр решітки різального механізму D, мм**	**Потужність приводу дробарки/ шнека N_1, кВт**	**Потужність подрібнювального механізму N_2, кВт**	**Особливості конструкції**
Kombiwolf U200 (Karl Schnell)	2500	4000	200	30	45	фреза+ вовчок
Kombiwolf Typ 445 KS400 (Karl Schnell)	10000	7000	400	45	103	фреза+ вовчок
WWG 2062 (Laska)	2500	3000	200	22	45	фреза+ вовчок
Automatenwolf V250 (Karl Schnell)	4000	3300	250	7,5	75	2 шнеки паралельно
COMBIgrind 200 (Marel)	4000	3100	200	7,5	55	2 шнеки паралельно
COMBIgrind 280 (Marel)	6500	5050	280	15	90	2 шнеки паралельно
SCG 200 (PSS)	4000	3000	200	11	55	2 шнеки паралельно
SCG 280 (PSS)	6500	4400	280	18,5	110	2 шнеки паралельно
CFS AutoGrind (GEA)	8000	4000	280	8	66	2 шнеки паралельно
CFS PowerGrind 280 (GEA)	8500	5000	280	30	128	2 шнеки паралельно
SuperGrinder WWB 200 H (Laska)	2600	2900	200	11	55	2 шнеки перпенди-кулярно
SuperGrinder WWB 300 H (Laska)	5800	5000	300	22	132	2 шнеки перпенди-кулярно
WW 300 (EKOMEX)	8000	4900	300	22	110	2 шнеки перпенди-кулярно
CFS MaxiGrind HD (GEA)	8000	3000	400	0	90	1 шнек
GIGANT MEW 734 (MaDo)	9000	3100	400	0	127	1 шнек
CFS UniGrind (GEA)	4000	1400	250	0	55	1 шнек
GX 400 (Seydelmann KG)	12000	3520	400	0	140	1 шнек

Джерело: розроблено автором на основі досліджень

Результати розрахунків із абсолютними значеннями критеріїв пропускної енергоємності E_D та пропускної маси E_m було зведено в таблицю 2. Отримані показники використано для порівняльної оцінки технічної досконалості обладнання та подальшого визначення ефективних альтернатив за сукупністю досліджених критеріїв.

Таблиця 2. Значення критеріїв E_D та E_m для вовчків-дробарок

Марка вовчка-дробарки (фірма-виробник)	**Позначення машини S**	**Пропускна енергоємність E_D, кВт/мм**	**Пропускна маса E_m, кг/мм**
Kombiwolf U200 (Karl Schnell)	S1	0,375	20
Kombiwolf Typ 445 KS400 (Karl Schnell)	S2	0,37	17,5
WWG 2062 (Laska)	S3	0,335	15
Automatenwolf V250 (Karl Schnell)	S4	0,33	13,2
COMBIgrind 200 (Marel)	S5	0,3125	15,5
COMBIgrind 280 (Marel)	S6	0,375	18,035714
SCG 200 (PSS)	S7	0,33	15
SCG 280 (PSS)	S8	0,45892857	15,714286
CFS AutoGrind (GEA)	S9	0,26428571	14,285714
CFS PowerGrind 280 (GEA)	S10	0,56428571	17,857143
SuperGrinder WWB 200 H (Laska)	S11	0,33	14,5
SuperGrinder WWB 300 H (Laska)	S12	0,51333333	16,666667
WW 300 (EKOMEX)	S13	0,44	16,333333
CFS MaxiGrind HD (GEA)	S14	0,225	7,5
GIGANT MEW 734 (MaDo)	S15	0,3175	7,75
CFS UniGrind (GEA)	S16	0,22	5,6
GX 400 (Seydelmann KG)	S17	0,35	8,8
GW 300 (Seydelmann KG)	S18	0,35	11

Джерело: розроблено автором на основі досліджень

Аналіз даних таблиці 2 показав, що значення пропускної енергоємності досліджуваних вовчків-дробарок змінюються в межах від 0,220 до 0,564 кВт/мм, тоді як пропускна маса становить від 5,6 до 20,0 кг/мм. Такий діапазон значень свідчить про суттєві відмінності між досліджуваними моделями за техніко-технологічними показниками, зумовлені їх продуктивністю, встановленою потужністю, діаметром решітки різального механізму та конструктивним виконанням робочих органів. При цьому перевага певної моделі за одним із критеріїв не обов'язково супроводжується кращим значенням іншого, що ускладнює однозначний вибір раціонального варіанта обладнання. Тому оцінювання вовчків-дробарок доцільно здійснювати з одночасним урахуванням обох критеріїв.

Для визначення сукупності ефективних альтернатив за критеріями пропускної енергоємності та пропускної маси застосовано принцип домінування Парето. Для наочного представлення співвідношення між досліджуваними критеріями та визначення положення кожного варіанта обладнання їхні абсолютні значення представлено графічно у вигляді точок на площині (рис. 1). Такий підхід дає змогу виокремити Парето-ефективні моделі вовчків-дробарок та відокремити їх від варіантів, які поступаються іншим моделям одночасно за сукупністю розглянутих критеріїв.

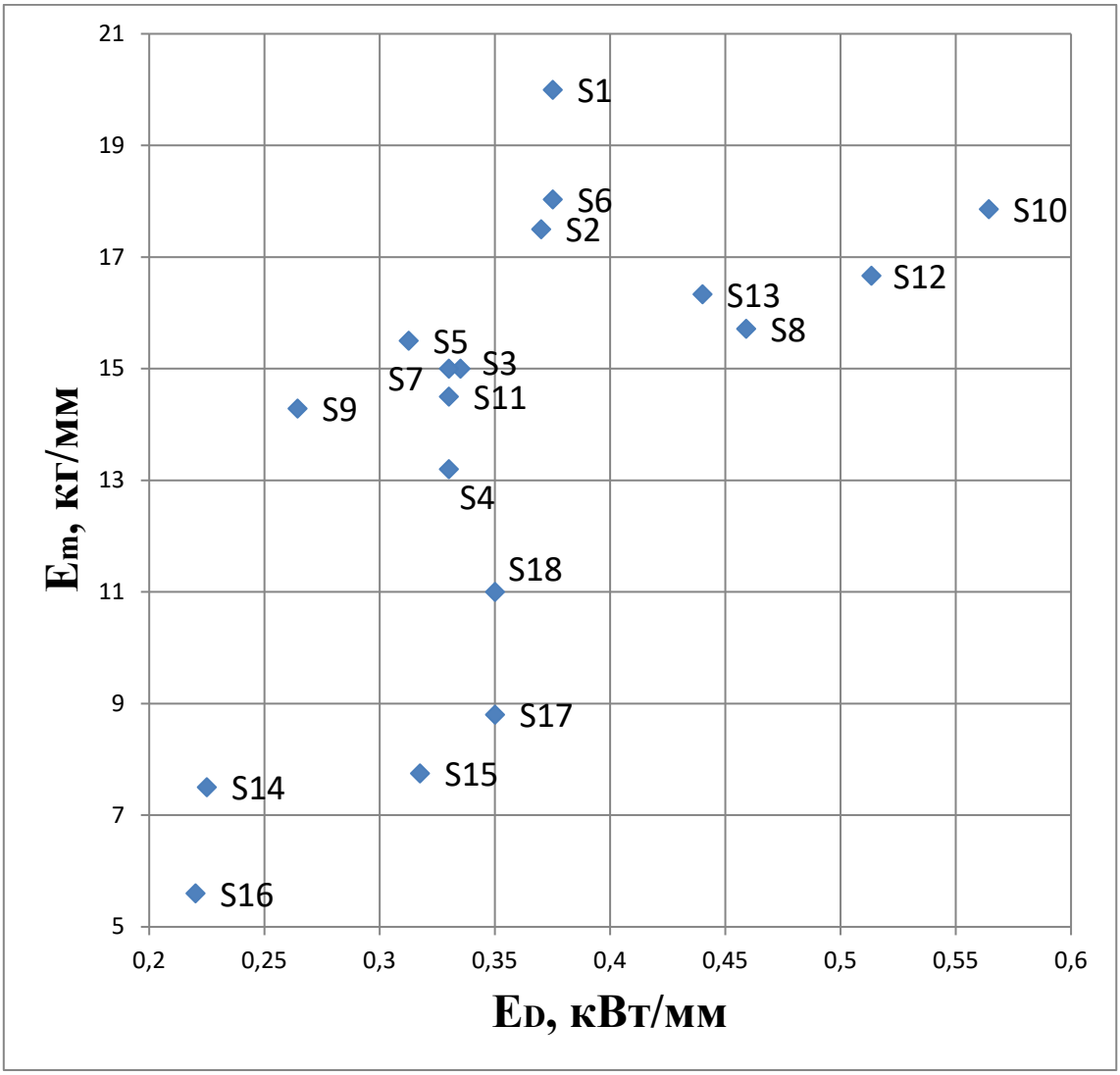


Рисунок 1. Графічне зображення альтернативних варіантів на площині (множині Парето)
Джерело: розроблено автором на основі досліджень

Аналіз множини Парето (рис. 1) показує формування двох характерних груп досліджуваного обладнання. У нижній лівій частині графіка, що відповідає мінімальним значенням досліджуваних показників, зосереджені переважно вовчки-дробарки з одним шнеком. Натомість у правій верхній частині, де значення показників є вищими, розташовані моделі з двома шнеками або додатковими фрезерними блокорізками.

Такий розподіл значною мірою зумовлений конструктивними особливостями обладнання. Наявність додаткового шнека, фрезерного блокорізального механізму та відповідного приводу ускладнює конструкцію машини, збільшує її масу та сумарну встановлену потужність.

У результаті це позначається на значеннях показників, пов'язаних із металоємністю та енергоємністю обладнання. Водночас ускладнення конструкції забезпечує виконання додаткової операції попереднього руйнування заморожених м'ясних блоків перед подальшим їх подрібненням у різальному механізмі.

Зменшити кількість альтернативних варіантів можна шляхом введення обмежень на гранично допустимі значення критеріїв. Так, обмеживши максимальне значення критерію E_D = 0,35 та E_m = 11, можна звести задачу до вибору одного з 5 варіантів (*S18, S17, S15, S14, S16*).

Результати розрахунків абсолютних значень критеріїв, використаних для визначення показника відстані до цілі, систематизовано та наведено в таблиці 3. Отримані значення стали

вихідними даними для подальшого нормування критеріїв, урахування їхньої значимості та комплексного порівняння досліджуваних варіантів обладнання.

Таблиця 3. Значення критеріїв та показника відстані до цілі для вовчків-дробарок

Марка вовчка-дробарки (фірма-виробник)	Загальна потужність приводу N, кВт	$К_Е$, кВт·год/кг	$К_М$, кг/(кг/год)	Відстань до цілі, μ
Kombiwolf U200 (Karl Schnell)	75	0,03	1,6	3,128012
Kombiwolf Typ 445 KS400 (Karl Schnell)	148	0,0148	0,7	0,914654
WWG 2062 (Laska)	67	0,0268	1,2	2,374928
Automatenwolf V250 (Karl Schnell)	82,5	0,020625	0,825	1,462966
COMBIgrind 200 (Marel)	62,5	0,015625	0,775	1,070452
COMBIgrind 280 (Marel)	105	0,016154	0,77692308	1,107378
SCG 200 (PSS)	66	0,0165	0,75	1,093114
SCG 280 (PSS)	128,5	0,019769	0,67692308	1,20551
CFS AutoGrind (GEA)	74	**0,00925**	0,5	0,281896
CFS PowerGrind 280 (GEA)	158	0,018588	0,58823529	1,007954
SuperGrinder WWB 200 H (Laska)	66	0,025385	1,11538462	2,167722
SuperGrinder WWB 300 H (Laska)	154	0,026552	0,86206897	1,897956
WW 300 (EKOMEX)	132	0,0165	0,6125	0,905592
CFS MaxiGrind HD (GEA)	90	0,01125	0,375	0,241151
GIGANT MEW 734 (MaDo)	127	0,014111	0,34444444	0,385066
CFS UniGrind (GEA)	55	0,01375	0,35	0,369219
GX 400 (Seydelmann KG)	140	0,011667	**0,29333333**	0,156802
GW 300 (Seydelmann KG)	105	0,0105	0,33	**0,131132**

Джерело: розроблено автором на основі досліджень

Аналізуючи дані таблиці 3, слід зазначити, що значення коефіцієнта енергоємності $К_Е$ змінюється в межах від 0,00925 до 0,03 (кВт·год)/кг, тоді як коефіцієнт металоємності $К_М$ змінюється в межах від 0,293 до 1,6 (кг·год)/кг. Найближчим до ідеалізованого варіанту виявився вовчок-дробарка марки GW 300 фірми Seydelmann KG (відстань до цілі 0,131). Близькими за значеннями виявилися також вовчок-дробарка марки GX 400 фірми Seydelmann KG (відстань до цілі 0,157) та вовчок-дробарка марки CFS MaxiGrind HD фірми GEA (відстань до цілі 0,241). Вищенаведені машини мають схожу конструкцію: наявність лише одного шнека, який виконує і функції подавально-подрібнювального шнека і функції власне робочого шнека. При цьому захоплююча частина шнека має 1 виток великого кроку, ребро якого виконане загостреним. У різальному комплекті даних машин використовується вихідна решітка з крупними отворами (15 мм і більше), тоді як вовчок-дробарка марки GIGANT MEW 734 фірми MaDo та вовчок-дробарка марки CFS UniGrind фірми GEA, завдяки оригінальності конструкцій шнека та подрібнювального вузла (відповідно див. вище), забезпечують подрібнення через вихідну решітку з отворами 3 мм. При цьому дані машини мають дещо більші значення коефіцієнта енергоємності і, як наслідок, показника відстані до цілі (0,385 та 0,369 відповідно).

Отримані результати доцільно розглядати в контексті сучасних підходів до багатокритеріального вибору технологічних рішень і досліджень процесу подрібнення замороженої м’ясної сировини. Особливістю проведеного дослідження є поєднання оцінки

конструктивних характеристик промислових вовчків-дробарок із показниками їх енерго- та металоємності, що дозволило перейти від порівняння окремих паспортних характеристик машин до комплексного обґрунтування раціонального варіанта обладнання.

Ferla et al. (2024) провели систематичний огляд застосування методів багатокритеріального аналізу рішень (MCDA) для оцінювання сталості у харчовому секторі. Після відбору автори проаналізували 42 наукові праці, у яких багатокритеріальні методи застосовували для комплексного врахування різних груп показників. Важливим висновком цієї роботи є те, що вибір методу MCDA має відповідати меті дослідження, структурі критеріїв і можливості врахування їхньої значущості. Отримані нами результати узгоджуються з таким підходом, оскільки використання методу відстані до цілі дало змогу одночасно врахувати декілька характеристик вовчків-дробарок, нормувати їхні значення та встановити значимість окремих критеріїв під час порівняння альтернатив. На відміну від дослідження Ferla et al. (2024), де MCDA розглянуто переважно як інструмент оцінювання сталості харчових систем, у нашій роботі цей підхід використано безпосередньо для вибору технологічного обладнання.

Важливим критерієм такого вибору є енергоємність процесу. Kapovsky et al. (2021) досліджували енергозберігальну технологію тонкого подрібнення харчової сировини, замороженої у блоках, та обґрунтовували можливість застосування одностадійного фрезерного подрібнення. Для розглянутого авторами обладнання розрахункові значення питомої енергоємності перебували в межах 0,010–0,032 (кВт·год)/кг. У проведеному нами дослідженні для вовчків-дробарок отримано близький, але дещо ширший у нижній частині діапазон – 0,00925–0,030 (кВт·год)/кг. Це свідчить про те, що сучасні вовчки-дробарки за показником енергоємності можуть бути зіставними з обладнанням, спеціально розробленим для енергозберігального подрібнення замороженої блокової сировини.

Інший технічний підхід до тонкого подрібнення замороженого м’яса розглянуто Ilyukhin et al. (2009), які запропонували застосування експериментального кутера УІМ-4 продуктивністю 200 кг/год із потужністю електродвигуна 7,5 кВт. За співвідношенням встановленої потужності та продуктивності розрахункова питома енергоємність такого обладнання становить 0,0375 (кВт·год)/кг. Це значення перевищує встановлений у нашому дослідженні діапазон для вовчків-дробарок – 0,00925–0,030 (кВт·год)/кг. Таким чином, результати порівняння вказують на потенційну перевагу окремих моделей вовчків-дробарок за питомим показником встановленої потужності. Водночас пряме ототожнення цього показника з фактичним споживанням електроенергії потребує обережності, оскільки реальні енерговитрати залежать від режиму роботи, температури, властивостей сировини, ступеня подрібнення та завантаження обладнання.

Ivashov et al. (2018) математично досліджували одностадійне подрібнення продуктів, заморожених у блоках, і розглядали фрезерування як енерго- та ресурсозберігальний спосіб організації процесу. Авторами було обґрунтовано можливість переходу від традиційного багатостадійного подрібнення до одностадійної схеми. Спільним із результатами нашого дослідження є встановлення переваг конструктивно простіших схем за ресурсними показниками. Зокрема, на множині Парето вовчки-дробарки з одним універсальним шнеком переважно сформували групу з меншими значеннями досліджуваних критеріїв, тоді як двошнекові машини та обладнання з додатковими фрезерними блокорізками характеризувалися вищими значеннями.

Kapovsky et al. (2020) розвинули цей напрям, дослідивши можливості інтелектуального керування процесом подрібнення замороженої м’ясної сировини. Основну увагу автори приділили автоматичному регулюванню процесу та забезпеченню заданих характеристик подрібненого продукту. На відміну від зазначеної роботи, у нашому дослідженні не розглядали систему автоматичного керування, а оцінювали обладнання на етапі його вибору. Разом із тим, обидва підходи є взаємодоповнювальними: раціональний вибір конструкції машини визначає ресурсні характеристики процесу, тоді як автоматизація може забезпечити підтримання необхідного режиму її роботи.

Подальший розвиток концепції одностадійного подрібнення представлено у роботах Ivchenko & Kupin (2021) та Kapovsky et al. (2023), де для керування процесом подрібнення замороженого м'яса розглядали математичні моделі, що враховують зміну технологічних параметрів. Результати цієї роботи підтверджують необхідність розглядати обладнання не лише за його номінальною продуктивністю або потужністю, а й як систему взаємопов'язаних конструктивних і режимних параметрів. Саме тому в нашому дослідженні, поряд з енергоємністю, враховано металоємність і конструктивну схему вовчків-дробарок.

Важливість конструкції робочих органів підтверджують також результати Bakiyeva et al. (2024). Автори розробили решітку вовчка зі змінним діаметром отворів і встановили, що зміна геометрії різального механізму впливає не лише на характеристики подрібненого м'яса, а й на продуктивність та енергетичні показники процесу. Застосування розробленої решітки забезпечило збільшення продуктивності з 150 до 225 кг/год, а для окремих видів сировини – зменшення споживання потужності до 7,3 %. Ці результати узгоджуються з нашим підходом, відповідно до якого діаметр решітки та конструкцію різального і подавального механізмів необхідно враховувати під час комплексного вибору вовчка-дробарки.

Ivashov et al. (2018) та Berger et al. (2023), узагальнюючи результати досліджень процесу подрібнення м'яса, звертають увагу на взаємозв'язок між механічною дією під час подрібнення, питомою механічною енергією та структурними змінами м'ясної сировини. Автори підкреслюють, що технологічна оцінка процесу не повинна обмежуватися продуктивністю обладнання, оскільки інтенсивність механічного впливу може позначатися на структурі та функціонально-технологічних властивостях подрібненого м'яса. У нашій роботі показники якості фаршу безпосередньо не визначали, тому отримані результати характеризують насамперед техніко-технологічну та ресурсну складову вибору обладнання. Врахування показників якості подрібненої сировини є перспективним напрямом розширення сформованої системи критеріїв.

Отже, порівняння одержаних результатів із даними восьми проаналізованих наукових праць свідчить, що ефективність подрібнення замороженої м'ясної сировини формується під впливом комплексу конструктивних, енергетичних і технологічних чинників. Визначений у межах проведеного дослідження діапазон енергоємності 0,00925–0,030 (кВт·год)/кг загалом узгоджується з результатами попередніх досліджень, присвячених енергоефективним способам подрібнення замороженої блокової сировини. Водночас використання Парето-аналізу в поєднанні з методом відстані до цілі дало змогу перейти від оцінювання обладнання за окремими показниками до комплексного врахування сукупності критеріїв. Установлено, що конструктивне ускладнення обладнання, зокрема застосування додаткових шнеків і блокорізальних механізмів, супроводжується зміною його енергетичних і масогабаритних характеристик. Отримані результати підтверджують доцільність застосування багатокритеріального підходу до вибору обладнання для подрібнення замороженої м'ясної сировини з урахуванням взаємозв'язку його конструктивних, енергетичних і технологічних параметрів.

ВИСНОВКИ. За результатами багатокритеріального аналізу встановлено суттєві відмінності техніко-технологічних і ресурсних характеристик вовчків-дробарок різних конструктивних виконань. Значення пропускної енергоємності досліджуваного обладнання становили 0,220–0,564 кВт/мм, пропускної маси – 5,6–20,0 кг/мм, коефіцієнта енергоємності – 0,00925–0,030 (кВт·год)/кг, а коефіцієнта металоємності – 0,293–1,600 (кг·год)/кг.

За результатами Парето-аналізу встановлено взаємозв'язок між конструктивним виконанням вовчків-дробарок і їхніми ресурсними показниками. Моделі з одним універсальним шнеком переважно характеризувалися меншими значеннями досліджуваних критеріїв, тоді як двошнекові машини та обладнання з додатковими фрезерними блокорізками – вищими. Це зумовлено збільшенням маси обладнання та встановленої потужності приводів унаслідок ускладнення конструкції.

Комплексне оцінювання методом відстані до цілі показало, що найменше значення інтегрального показника серед досліджуваних моделей отримано для вовчка-дробарки GW 300 компанії Seydelmann KG – 0,131. Водночас ця модель оснащена вихідною решіткою з отворами діаметром 15 мм і більше, що обмежує її використання у технологічних операціях, де необхідне тонке подрібнення замороженої м'ясної сировини.

Для подрібнення сировини через вихідну решітку з отворами діаметром 3 мм доцільно розглядати GIGANT MEW 734 компанії MaDo та CFS UniGrind компанії GEA, для яких показник відстані до цілі становив відповідно 0,385 і 0,369. Незважаючи на дещо вищу енергоємність цих машин, особливості конструкції їхніх робочих органів забезпечують можливість отримання меншого ступеня кінцевого подрібнення. Отже, раціональний вибір вовчка-дробарки необхідно здійснювати за сукупністю ресурсних показників і технологічних вимог щодо ступеня подрібнення замороженої м'ясної сировини.

Отримані результати можуть бути використані під час вибору обладнання, комплектування технологічних ліній та виконання проєктних розрахунків процесу подрібнення замороженої м'ясної сировини. Перспективою подальших досліджень є доповнення системи критеріїв показниками якості подрібненої сировини, фактичного енергоспоживання та економічної ефективності, а також застосування розробленого підходу для багатокритеріального вибору вовчків-жилувальників.

Подяки
Немає
Конфлікт інтересів
Немає

References

Bakiyeva, A., Yerengaliyev, A., Kakimov, A., Zhumadilova, G., Abdilova, G., Serikov, E., Suychinov, A., Turagulov, R., & Yessimbekov, Z. (2024). Development of the Design of Plate with Variable Diameters of Holes and Its Impact on Meat-Grinding Quality and Efficiency. *Processes,* 12(9), 1808. https://doi.org/10.3390/pr12091808

Bal-Prylypko, L.V., Nikolayenko, M.S., Cherednichenko, O.O., Danylenko, S.G., Stepasiuk, L.M., & Nazarenko, M.V. (2022). Actual problems of the meat processing industry and practical approaches to improving the recipes of sausage products. *Food Resources*, 10(19), 26–37. https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-03

Berger, L. M., Böckle, C., Gibis, M., Herrmann, K., Terjung, N., & Weiss, J. (2023a). Effect of manufacturing and frozen meat temperatures on structural and functional properties of hamburgers. *Journal of Food Engineering, 353,* 111526. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111526

Berger, L. M., Witte, F., Terjung, N., Weiss, J., & Gibis, M. (2022). Influence of Processing Steps on Structural, Functional, and Quality Properties of Beef Hamburgers. *Applied Sciences,* **12**(15), 7377. https://doi.org/10.3390/app12157377

Berger, L. M., Witte, F., Tomasevic, I., Heinz, V., Weiss, J., Gibis, M., & Terjung, N. (2023b). A review of the relation between the grinding process and the quality of ground meat. *Meat Science*, 205, 109320. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109320

Davydova, O., & Zozulyov, O. (2021). Current state of the Ukrainian sausage market: key trends and drivers of development. Actual problems of economy and management, 15, 150-161.

Gevko, I.B., Lyashuk, O.L., Lutsykiv, I.V., Plekan, U.M., & Klendiy, V.M. (2021). Technical and economic substantiation of engineering solutions at service stations and ATP. Ternopil: Ivan Pulyuy TNTU.

Giulio Ferla, Benedetta Mura, Silvia Falasco, Paola Caputo, Agata Matarazzo, (2024). Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) for sustainability assessment in the food sector. A systematic

literature review on methods, indicators and tools. *Science of The Total Environment*, Vol. 946. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174235

Gunko, I.V., Galushchak, O.O., & Kravets, S.M. (2019). Analysis of technological systems. Justification of engineering solutions. Vinnytsia: VNAU.

Ilyukhin, V.V., Tambovtsev, I.M., Shatalov, A.N., Suvorov, A.O., & Sidoryak, A.N. (2009). Material, energy and heat balance of grinding meat raw materials. *All about meat*, 1, 15-16

Industrial catalog of EKOMEX [Electronic resource]. - Germany. (2023). – Access mode: https://ekomex.com.pl

Industrial catalog of GEA Convenience-Food Technologies [Electronic resource]. - The Netherlands. (2023). – Access mode: https://www.gea.com

Industrial catalog of Karl Schnell GmbH & CO. KG [Electronic resource]. - Germany. (2023). – Access mode: https://www.karlschnell.de

Industrial catalog of MADO GmbH [Electronic resource]. - Germany. (2023). – Access mode: https://www.mado.de

Industrial catalog of Marel [Electronic resource]. - Iceland. (2023). – Access mode: https://marel.com

Industrial catalog of Maschinenfabrik Laska GmbH [Electronic resource]. - Austria. (2023). – Access mode: https://www.laska.at

Industrial catalog of Maschinenfabrik Seydelmann KG [Electronic resource]. - Germany. (2023). – Access mode: https://www.seydelmann.com

Industrial catalog of PSS [Electronic resource]. - The Netherlands. (2023). – Access mode: https://pss-svidnik.sk

Ivashov, V.I., Kapovsky, B.R., Plyasheshnik, P.I., Pchelkina, V.A., Iskakova, E.L., & Nurmukhanbetova, D.E. (2018). Mathematical simulation of one-stage grinding of products frozen in blocks. *Series of Geology and Technical Sciences*, 5, 431, 48–65. https://doi.org/10.32014/2018.2518-170X.9

Ivchenko, R.A., & Kupin, A.I. (2021). Research of multi-criteria optimization methods for the selection of equipment or parts in production. Scientific Notes of V.I. *Vernadsky TNU. Series: Technical Sciences*, 32 (71) 1/1, 67-72. https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-1/11

Kapovsky, B., Kuznetsova, T., Lazarev, A., & Plyasheshnik, P. (2021). Energy-saving technology for fine grinding of food raw materials frozen in blocks. *E3S Web Conf*., 279. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127903009

Kapovsky, B., Zakharov, A., & Nikitina, M. (2020). Intelligent control system for minced meat production. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 14, 750–758. https://doi.org/10.5219/1342

Kapovsky, B., Plyasheshnik, P., & Stefanova, V. (2023). Intelligent data analysis in an automated system of input control of raw materials on a continuous process line for the production of meat products. *E3S Web Conf*, 419. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341902006

Kovalenko, O., & Lysenko, G. (2018). Demand for meat and its consumption in Ukraine and worldwide: current trends. *Food Resources*, 6(10), 131–141. https://doi.org/10.31073/foodresources2018-10-15.

Kryvoplias-Volodina, L., Gavva, O., & Derenivska, A. (2018). Optimization of the synthesis of packing machines by the efficiency criteria. *Scientific Works of NUFT*, 24(5), 115–123. https://doi.org/10.24263/2225-2924-2018-24-5-15

Lisitsyn, A. B., Semenova, A. A., Zakharov, A. N., Kapovsky, B. R., & Kuznetsova, T. G. (2017). An innovative method of fine comminution of meat raw material. *Fleischwirtschaft International*, 2, 61–65.

Mormul, M., Shchytov, D., Shchytov, O., & Rudyanova, T. (2023). Aspects of multi-criterion selection of administrative decisions. SWorldJournal, 1(19-01), 64–76. https://doi.org/10.30888/2663-5712.2023-19-01-018

Sarana, V., & Sereda, V. (2023). Multi-criterion selection of wolf mixers. *Human and Nation's Health*, (2), 56–71. https://doi.org/10.31548/humanhealth.2.2023.56

Zhao, Y., & Sebranek, J. G. (1997). Technology for meat-grinding systems to improve the removal of hard particles from ground meat. *Meat Science,* 45(3), 389–403. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(96)00114-3