

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2026-26-2-21>

УДК 664.002.5:621.9.02

В. В. Дуб¹, канд. техн. наук, доц.

ORCID: 0000-0002-2078-4426

І. В. Лебединець², канд. техн. наук, доц.

ORCID: 0000-0002-5703-838X

Д. В. Дмитревський², канд. техн. наук, доц.

ORCID: 0000-0003-1330-7514

Л. М. Задорожна¹, ст. викладач

ORCID: 0000-0001-9075-3011

А. С. Стефашкіна¹, студент

ORCID: 0009-0002-4234-0049

¹Центральноукраїнський національний технічний університет²Державний біотехнологічний університет

e-mail: igor13lebedinec@gmail.com

ІНЖЕНЕРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО НОЖА КУТЕРА ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ХАРЧОВОЇ ІНДУСТРІЇ

Анотація. У статті розглянуто актуальну проблему підвищення енергоефективності кутерного обладнання для харчової індустрії та ресторанного господарства. Встановлено, що енерговитрати залежать від кута загострення та профілю різальної кромки ножів. Оптимізація їх геометричних параметрів дає компроміс між зносостійкістю та питомими витратами. Запропоновано технічне рішення з метою зниження енергоспоживання приводу кутера.

Розроблена конструкція ножа зменшує опір різанню та тепловиділення, а також запобігає нагріванню сировини понад норми. Наукова новизна отриманих результатів заключається у раціональному поєднанні елементів різальної кромки та форми корпусу ножа, що дозволяє знизити гідродинамічний опір під час роботи. Практична цінність розробки полягає у зменшенні експлуатаційних витрат. На запропоноване технічне рішення подано заявку на корисну модель.

Ключові слова: різальний інструмент, подрібнення, тертя, тепловиділення, енергоефективність, зносостійкість, корисна модель.

Постановка проблеми. Енергетична ефективність технологічного обладнання є одним з ключових чинників конкурентоспроможності сучасних харчових, м'ясопереробних підприємств та закладів ресторанного господарства [1]. Кутери, використовуються для дрібнодисперсного подрібнення рибного та м'ясного фаршу, який піддавався попередньому подрібненню за допомогою вовчків або м'ясорубок. Процес кутерування є досить енергоємним. Причому основна частка енерговитрат припадає на подолання опору різанню та сил тертя, що виникають між бічними поверхнями ножів і сировиною, яка обробляється [2].

Саме тому проектування робочих органів із покращеними геометричними параметрами, здатних зменшити сили тертя та знизити загальне енергоспоживання агрегату, є актуальним техніко-економічним завданням. Ця стаття присвячена комплексному аналізу параметрів робочих органів кутерів, їх впливу на ефективність процесу та інженерному проектуванню нового високоефективного ножа.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження показують, що опір різанню замерзлого м'яса або м'яса з високим вмістом сполучних тканин може зростати на 40...60 %, що кардинально змінює вимоги до міцності кромки. При цьому вибір кута загострення ножа для кутера не може бути універсальним і часто вимагає адаптації під конкретну лінійку продукції підприємства. Наприклад, для подрібнення напівжирної свинини може бути достатнім кут загострення 25°, тоді як для обробки жирної яловичини з сухожиллями, з метою запобігання вищерблювання, доцільно загострювати ніж під кутом 32...35°.



Експериментальні дані свідчать, що збільшення кута загострення від 20° до 30° може підвищити стійкість інструменту на 50...80 %, але водночас призводить до зростання питомих енерговитрат на 15...25 % [3]. Таким чином, оптимізація роботи кутерів зводиться до пошуку компромісу, за якого показники зношування ножів та рівень енергоспоживання забезпечують мінімум сумарних експлуатаційних витрат.

Відомо, що профіль спуску леза безпосередньо впливає на динаміку процесу. Клиноподібний профіль створює ефект «клина», який активно розтискає волокна, але водночас стискає продукт з боків, що збільшує площу контакту та тертя. У той же час, випуклі спуски забезпечують плавне відведення матеріалу від лінії різку, та зменшують бічний тиск. Це підтверджується експериментами з вимірювання бічних зусиль при різанні м'ясної сировини [4]. Профіль, який утворює увігнуті спуски, ще більше зменшує площу контакту, але може бути менш міцним при роботі з твердими включеннями, наприклад частинками кісток або льоду.

У патентній літературі описано прогресивні рішення щодо конструкцій ножів. Наприклад, дослідники Харківського державного університету харчування та торгівлі запропонували комбінований профіль, в якому верхня частина спуску виконана увігнутою для зменшення ваги, а безпосередньо біля кромки представляє опуклий мікро-профіль для підвищення міцності [5]. Це дозволяє поєднати низький опір різанню зі стійкістю до зношування.

Схожі принципи описані в європейському патенті EP 2676570 A1, в якому лезо виконано зі змінним кутом спуску по довжині з метою адаптації до різної щільності продукту [6].

Інноваційним напрямком є відхід від прямої лінії ріжучої кромки. Традиційні ножі кутерів мають прямий або злегка вигнутий профіль. Однак дослідження динаміки потоку в чаші кутера показують, що рівномірна кривизна не завжди оптимальна. Патент US 8844149 B2 детально описує лезо зі спеціально розрахованою хвилеподібною або серпоподібною кромкою [7]. Фізичний принцип дії такого ножа полягає у наступному: ділянка з більшою кривизною інтенсивніше захоплює і початково деформує продукт, тоді як наступна ділянка з меншою кривизною завершує різання. Це призводить до розподілу навантаження в часі та у просторі, згладжує пульсації моменту сили, що навантажує двигун, і відповідно, знижує пікове енергоспоживання.

Українські розробки також рухаються аналогічним шляхом. Наприклад, представлений робочий орган кутера [8] включає сегментоване лезо, окремі секції якого встановлені під різними кутами атаки, що також забезпечує поетапне різання.

Критично важливим аспектом подрібнення м'ясної сировини є вплив геометрії робочого органу кутера на генерацію тепла за рахунок сил тертя. Сильне тертя леза об продукт призводить до нагрівання як ножа, так і м'ясної сировини. Нагрівання м'яса понад $10...12^\circ\text{C}$ може запускати денатурацію білків на поверхні зрізу, що відповідно погіршує якість фаршу. Правильно підібрана геометрія робочого органу кутера, що мінімізує тертя, безпосередньо покращує і технологічні показники продукту [9, 10].

У вирішенні даної проблеми, деякі сучасні дослідники, йдуть ще далі, інтегруючи в ножі системи внутрішнього охолодження [11]. Проте очевидно, що ефективність таких систем також залежить від первинної геометрії спусків кутерного ножа.

Отже, сучасний підхід до проектування геометрії ріжучої кромки ножів кутерів перестає бути уніфікованим. Він перетворюється на складну інженерну задачу, що враховує властивості сировини, режими роботи агрегату та вимоги до якості кінцевого продукту. Ця тенденція чітко простежується в останніх патентних заявках як в Україні, так і за кордоном, де описується ціла система робочих органів, адаптованих до зміни рецептури.

Мета досліджень. Метою даної роботи є підвищення енергоефективності процесу кутерування м'ясної сировини шляхом розробки нової конструкції робочого органу з оптимізованими геометричними параметрами. Дослідження зосереджене на системному визначенні оптималь-



них співвідношень між геометричними параметрами леза (кутом загострення, профілем спуску, кривизною ріжучої кромки). Це повинно забезпечити мінімізацію питомих енерговитрат при різанні м'ясної сировини без шкоди для продуктивності, довговічності інструменту та якості технологічного процесу. Для досягнення поставленої мети необхідно розробити конструкцію ножа, що забезпечує зменшення гідродинамічного опору та мінімізацію тепловиділення в зоні різання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Енергетичні витрати при різанні м'яса визначаються низкою параметрів: товщиною леза, глибиною його занурення, станом поверхні ножа, кутом загострення, швидкістю руху та фізико-механічними характеристиками продукту. М'ясна сировина є в'язкопружним анізотропним матеріалом, опір якого різанню залежить від його сорту, вологості, температури, ступеня підморожування та орієнтації волокон. Комплексне врахування цих чинників є критично важливим у процесі проектування робочих органів подрібнювального обладнання.

Енергія різання E витрачається на деформацію продукту, подолання сил тертя по поверхнях леза та утворення нової поверхні. Вона може бути описана співвідношенням:

$$E = k \cdot A \cdot \tau \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від геометрії леза;

A – площа зрізу, м²;

τ – питомий опір зсуву продукту, Н/м².

Із представленого виразу виходить, що одним із шляхів зниження енерговитрат при кутеруванні м'ясної сировини є мінімізація коефіцієнта k шляхом оптимізації геометрії та кута заточки леза ножа.

В ряді промислових конструкцій, ножі кутера обладнані різальною кромкою, яка виконана у вигляді спіралі або ламаної лінії. Вони мають ряд переваг зрівняно з прямими ножами. Зокрема, вигнута форма леза забезпечує його кінематичне загострення [12]. В результаті процес різання м'яса відбувається лезом з ефективним кутом β , що є дещо меншим за фізичний кут загострення:

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \beta_0 \cdot \cos \alpha = \operatorname{tg} \beta_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{V_\tau}{V_n}\right)^2}}, \quad (2)$$

де β_0 – кут загострення леза, град;

α – кут між нормаллю до різальної кромки та напрямком швидкості різання, град;

V_τ , V_n – складові швидкості руху ножа, відповідно у нормальному та тангенціальному напрямках, м/с.

Крім того, вигнута форма леза ножа сприяє зісковзуванню неперерізаних волокон сполучної тканини з ріжучої кромки, що запобігає її засміченню. Разом із тим зазначене рішення має суттєвий недолік – процес подрібнення супроводжується підвищеним енергоспоживанням.

З метою збільшення енергоефективності подрібнювального обладнання, на основі проведених досліджень та технологічних розрахунків було спроектовано вискоефективний ніж кутера, та подано заявку на корисну модель.

В якості прототипу обрано ніж серповидної форми [13], конструкція якого передбачає двосторонню заточку. Однак представлене рішення також не позбавлене недоліків, оскільки під час роботи виникає надмірне тертя та інтенсивна тепловіддача.

Запропонована корисна модель ножа кутера (рис. 1) спрямована на подолання ключових недоліків існуючих аналогів, зокрема високого енергоспоживання та інтенсивного нагріву м'ясного фаршу під час технологічного процесу подрібнення.

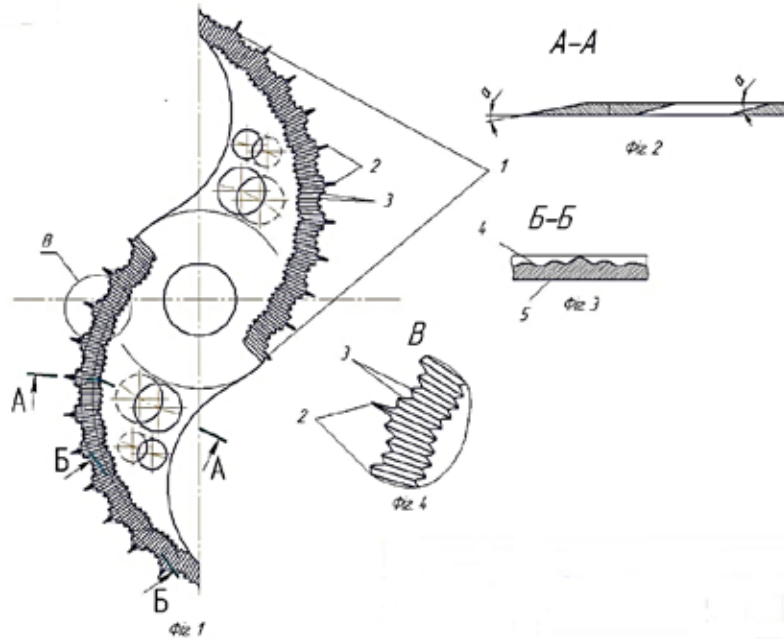


Рис. 1. Загальний вигляд ножа кутера за корисною моделлю

Суть інженерного проектування енергоефективного ножа кутера полягає в комплексній модифікації геометрії ріжучого краю 1 (рис. 1, фіг. 1) та тіла ножа. Робоча кромка виконується у формі дуги кола зі зміщеним центром, але з принципово новою конфігурацією. Одна її сторона залишається рівною для можливості класичного загострення, тоді як протилежній надають складної пилоподібної форми.

Цей пилоподібний профіль не є однорідним. Він утворений зубцями з основним кроком 2, причому кожен із цих зубців сам по собі має додаткову мікрогеометрію – вторинні канавки та зубці з меншим кроком 3 (рис. 1, фіг. 1, 4). Така багаторівнева структура забезпечує не однорідне різання, а ефект розчленованого зрізу, коли основний зубець розподіляє напруження, а мікрогеометрія допомагає подрібнювати волокна, що знижує загальний опір подрібнювального матеріалу.

Для зменшення тертя бокової поверхні об масу продукту застосовано оригінальне рішення – перфорацію тіла ножа циліндричними отворами, виконаними не перпендикулярно, а під певним кутом до бічної площини (рис. 1, фіг. 2). Це виконує одразу дві функції: значно зменшує площу контакту та, як наслідок, силу тертя, а також створює додаткові ріжучі кромки вздовж країв кожного отвору.

Таким чином, загальна активна довжина ріжучого краю збільшується, а робота різання розподіляється між основним лезом і цією допоміжною перфорованою структурою. Скошений під кутом α край кожного отвору фактично працює як мікро-лезо, що сприяє кращому захопленню ножа в продукт та його подальшому відведенню.

В перерізі видно, що ріжучий край формує асиметричний профіль: з одного боку це хвиляста поверхня 4, яка відповідає пилоподібній стороні, а з іншого – абсолютно плоска 5 (фіг. 3). Саме ця плоска поверхня є опорною для операції відновлення гостроти інструменту шляхом переточки та полірування.

Принцип дії такого комбінованого ножа ґрунтується на поєднанні ефектів. Пилоподібна багаторівнева різальна кромка замість того, щоб рівномірно розрізати, ефективніше розриває та подрібнює сполучні тканини м'яса. Перфороване тіло значно зменшує ефект прилипання фаршу, та відповідно знижує гідродинамічний опір обертанню.



Сумарним результатом є зниження потужності, яка споживається приводом кутера, та мінімізація перетворення енергії роботи у тепло, що безпосередньо запобігає небажаному нагріву сировини.

Висновки. Запропоновано нову конструкцію робочого органу кутера (заявка на корисну модель № u202504982), яка поєднує багаторівневу пилоподібну заточку зі змінним кроком, та похилу перфорацію тіла ножа. Таке інженерне рішення забезпечує розчленований зріз сполучних тканин, зменшує площу контакту та гідродинамічний опір. Похилі отвори створюють додаткові мікрорізальні кромки та покращують відведення фаршу.

Технічна новизна рішення полягає у раціональному поєднанні основного леза з допоміжними різальними елементами. Це дозволяє зменшити частку енергії, яка перетворюється на тепло, та запобігти небажаному нагріванню сировини понад технологічні норми.

Перспективним напрямом подальших робіт є серійне впровадження запропонованої конструкції ножа кутера у виробництво, а також подальше удосконалення його геометричних параметрів із застосуванням методів комп'ютерного моделювання та оптимізації.

Список використаних джерел

1. Дуб В.В., Терешкін О.Г., Пазюк В.М. Зниження енергоємності процесу подрібнення м'ясної сировини на підприємствах ресторанного господарства. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. Вип. 11(42). Ч. 1. С. 84–91. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202003036>
2. Аткинс Е. Динаміка різання та деформування матеріалів. Оксфорд : Elsevier, 2009. 320 с.
3. Захарченко В. І. Оптимізація кута загострення робочих органів кутерів на основі аналізу енерговитрат та зносостійкості. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2017. № 34. С. 78–85.
4. Goksoy E. The effects of blade geometry on cutting forces in meat processing. *Journal of Food Engineering*. 2003. Vol. 57, № 3. P. 267–271.
5. Робочий орган кутера: пат. 112233 Україна: МПК В02С 18/20. № u201611234. О. М. Борисенко, С. В. Петренко; заявл. 15.11.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.
6. Cutter knife with variable geometry: пат. 2676570 А1 Європейський Союз: МПК В02С 18/40. № EP13165432. G. Schmidt, F. Weber; заявл. 26.04.2013; опубл. 24.12.2014, Бюл. № 2014/52.
7. Cutting blade for food processor having a serrated edge: пат. 8844149 В2 Сполучені Штати Америки: МПК В02С 18/18. № US13/555,678. R. L. Johnson, M. K. Davis; заявл. 23.07.2012; опубл. 30.09.2014.
8. Ніж для подрібнення харчових продуктів: пат. 123456 С2 Україна: МПК В26В 9/00. № a201700567. В. П. Сидоренко, І. І. Коваль; заявл. 24.01.2017; опубл. 25.12.2018, Бюл. № 24.
9. Дейниченко Г.В., Простаков О.О., Дуб В.В. Удосконалення процесів переробки м'ясної сировини в підприємствах харчування : монографія. Харків : ХДУХТ, 2003. 237 с.
10. Дуб В. В. Вдосконалення процесу подрібнення харчової сировини та обладнання для його реалізації на підприємствах харчування : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12. Харків, 2002. 237 с.
11. Internally cooled cutting blade for a food chopper: пат. 9867123 В2 Сполучені Штати Америки: МПК В02С 18/22. № US14/987,123. T. J. Miller; заявл. 03.01.2016; опубл. 16.01.2018.
12. Моделювання технологічних процесів і обладнання переробних підприємств АПК : монографія / В. Ю. Сухенко та ін.; за ред. В. Ю. Сухенка. Київ : ЦП «КОМПРИНТ», 2017. 520 с.
13. Ніж кутера: пат. 116156 Україна, МПК В02С 18/20. № 201601234. О. В. Батраченко; заявл. 18.03.2016; опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3.

Дата першого надходження статті до видання: 21.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 25.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)





V. Dub¹, I. Lebedynets², D. Dmytrevskiy², L. Zadorozhnia¹, A. Stefaskina¹

¹Central Ukrainian National Technical University

²State Biotechnological University

DESIGN OF AN ENERGY-EFFICIENT CUTTER KNIFE FOR RESTAURANTS AND THE FOOD INDUSTRY

Summary

This study addresses improving energy efficiency in cutter equipment for the food industry. A significant share of energy consumption during comminution is attributed to cutting resistance and friction between knife lateral surfaces and raw material. Geometric characteristics of cutting tools – sharpening angle, blade profile, and cutting edge configuration – directly impact energy expenditure and product quality.

A review of scientific and patent literature shows that optimal selection of knife geometry allows a trade-off between tool wear resistance, specific energy consumption, and processed meat quality. However, existing designs (serrated or crescent-shaped knives) fail to simultaneously meet requirements of energy efficiency, reduced heat generation, and straightforward maintenance.

The primary goal is to enhance energy efficiency of meat raw material comminution through a novel cutting tool with optimized geometry. The key objective is to lower specific energy consumption without compromising tool durability or process quality.

Research methodology included analytical review, systematic analysis of knife geometry influence on energy performance, technological calculations, and engineering creativity methods.

As a result, an original cutter knife design is proposed. The developed solution incorporates a multi-level serrated cutting edge with variable tooth pitch together with inclined perforations in the knife body. The serrated pattern ensures distributed cutting action, reducing resistance from connective tissues. Inclined holes decrease contact area, lowering friction, while perforation edges act as additional micro-cutting surfaces. The blade features an asymmetric cross-section – wavy on one side, flat on the opposite – simplifying sharpening and maintenance.

Scientific novelty lies in the rational combination of the main cutting edge with auxiliary elements (serrated profile and perforation edges), reducing mechanical energy converted into heat. This prevents undesirable heating of raw material beyond technological limits and ensures lower hydrodynamic resistance.

Practical value consists in reducing energy consumption of the cutter drive while maintaining finished product quality. The flat support surface enables convenient restoration of cutting properties under industrial conditions. A utility model application (No. u202504982 dated October 13, 2025) has been filed for the proposed design.

Optimizing cutter knife geometry through a multi-level serrated edge and inclined perforations reduces cutting resistance, minimizes friction, and lowers heat generation. The proposed solution improves energy efficiency and reduces operational costs.

Keywords: cutting tool, comminution, friction, heat generation, energy efficiency, wear resistance, utility model.