

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ

БАТРАЧЕНКО ОЛЕКСАНДР ВІКТОРОВИЧ



УДК 637.513.4:539.62

**НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ ОСНОВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ МАШИН
ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Черкаському державному технологічному університеті
Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Осипенко Василь Іванович,
Черкаський державний технологічний університет, завідувач
кафедри проектування харчових виробництв та верстатів
нового покоління.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Терешкін Олег Георгійович,
Харківський державний університет харчування
та торгівлі, завідувач кафедри готельного, ресторанного
бізнесу та туризму;

доктор технічних наук, професор
Сухенко Владислав Юрійович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
завідувач кафедри стандартизації та сертифікації
сільськогосподарської продукції;

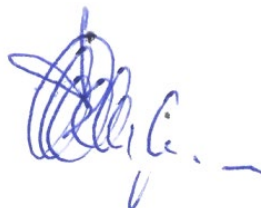
доктор технічних наук, доцент
Погребняк Андрій Володимирович,
Університет митної справи та фінансів,
професор кафедри транспортних систем та міжнародної
логістики.

Захист відбудеться 27 квітня 2021 р. о 9³⁰ на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д64.088.01 в Харківському державному університеті харчування та
торгівлі за адресою: вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського державного
університету харчування та торгівлі за адресою: вул. Клочківська, 333, м. Харків,
61051.

Автореферат розіслано 26 березня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



В. М. Онищенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Необхідною умовою успішного розвитку харчової промисловості є вдосконалення технологічного обладнання з метою підвищення ефективності обробки сировини та зменшення експлуатаційних витрат.

Особливо актуальним є виконання цих вимог у м'ясопереробній галузі. Близько 70 % операцій технологічного процесу виготовлення ковбасних виробів та фаршевих напівфабрикатів займають операції подрібнення м'ясної сировини. Вони значною мірою визначають якість та вихід готового продукту. Основними видами подрібнювального обладнання м'ясопереробних виробництв були і залишаються вовчки, кутери і емульсатори. Над дослідженням та вдосконаленням цих машин працювали А. І. Пелєєв, В. М. Горбатов, Г. О. Прейс, О. І. Некоз, В. К. Кукшин, Ю. Г. Сухенко, В. Ю. Сухенко, М. М. Клименко, Т. В. Чижикова, С. Г. Юрков, А. С. Андріанов, В. К. Бубиренко, В. В. Дуб, Г. В. Бакунц, В. Д. Косой, С. Б. Вербицький та інші дослідники. Незважаючи на вагомість отриманих при цьому результатів, їх не можна вважати вичерпними для окремих аспектів робочих процесів у цих машинах.

Проведений нами аналіз дав можливість встановити, що в сучасних моделях вовчків, кутерів і емульсаторів недостатніми є питома продуктивність (продуктивність, яка віднесена до діаметра різального вузла машини), якість обробки сировини (рівень підвищення температури сировини при подрібненні, її вологовміст), працездатність робочих органів (статична і втомна міцність, зносостійкість), зависокою є енергоємність роботи (кВт·год/кг).

В основу роботи покладено розроблену концепцію вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини, яка ґрунтується на системному взаємоузгодженні гідравлічних процесів подачі м'ясної сировини та механічних процесів її подрібнення. Сутність концепції полягає в тому, що визначаються і взаємоузгоджуються параметри системи подачі та подрібнення, які забезпечують максимальну загальну ефективність процесу, включаючи напружено-деформований стан, втомну витривалість і характеристики зношування робочих органів.

Уточнення відомих і встановлення нових системних зв'язків між конструктивними та кінематичними характеристиками вузлів обладнання, структурно-механічними характеристиками сировини і параметрами гідравлічних процесів подачі та механічних процесів подрібнення, встановлення закономірностей взаємовпливу цих процесів та необхідного рівня їх взаємоузгодження, виявлення впливу на напружено-деформований стан, зношування та втомну витривалість робочих органів і є центральним завданням цієї роботи, вирішення якого є науковим підґрунтям ефективного подальшого вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини та обумовлює актуальність роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що становлять основу дисертації, проведено у Черкаському державному технологічному університеті згідно з госпдоговірними темами № 70-2008 «Підвищення ефективності роботи та довговічності м'ясорізальних машин» (держ. реєстр. № 0108U010861), № 79-2009 «Розроблення сучасного вітчизняного комплексу м'ясорізальних машин» (держ. реєстр. № 0110U006180) та

«Організаційно-економічні рішення та інноваційні моделі підвищення якості й безпечності продукції тваринництва в Україні» (держ. реєстр. № 0118U003863).

Концептуальна гіпотеза роботи полягає у встановленні та взаємоузгодженні параметрів гідравлічних процесів подачі сировини, механічних процесів її подрібнення, напружено-деформованого стану та характеристик зношування і втомної витривалості робочих органів вовчків, кутерів і емульситаторів. Взаємоузгодження означених параметрів забезпечує підвищення якості обробки сировини, питомої продуктивності, енергоефективності, працездатності цих машин та зниження вартості їх експлуатації.

Мета роботи полягає в подальшому розвитку науково-прикладних основ ефективного вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини, яке забезпечує суттєве підвищення питомої продуктивності, енергоефективності, якості обробки сировини, працездатності вовчків, кутерів і емульситаторів та зниження вартості їх експлуатації.

Для досягнення мети було поставлено такі **завдання**:

- провести аналіз наявних конструкцій вовчків, кутерів і емульситаторів, їх технологічних параметрів і відомих методологічних підходів до їх вдосконалення;
- розробити методики дослідження процесів, які відбуваються при взаємодії робочих органів машин із м'ясною сировиною під час її переробки, спроектувати та виготовити відповідне апаратне оформлення цих методик;
- запропонувати й обґрунтувати ефективну систему підходів до вдосконалення вовчків, кутерів і емульситаторів на підґрунті взаємоузгодження гідродинаміки сировини, процесу її подрібнення, закономірностей впливу параметрів даних процесів на напружено-деформований стан, характеристики зношування та втомну витривалість робочих органів машин;
- встановити особливості гідродинаміки м'ясної сировини в робочих зонах машин, закономірності їх впливу на процес подрібнення, способи взаємоузгодження конструктивних параметрів систем подачі та подрібнення;
- виявити закономірності впливу параметрів взаємодії робочих органів машин з м'ясною сировиною на їх напружено-деформований стан, характеристики зношування та межу втомної витривалості;
- встановити частотні діапазони коливань ножів кутерів, базові фактори, що їх визначають, та характеристики впливу вібраційних навантажень на напружено-деформований стан ножів;
- виявити закономірності впливу технологій зміцнення матеріалу та геометричних характеристик ножів кутерів на межу їх втомної витривалості;
- встановити закономірності зношування базових елементів вузлів подрібнення кутерів і емульситаторів;
- запропонувати комплекс конструктивних і технологічних заходів для підвищення зносостійкості, механічної міцності та втомної витривалості робочих органів вовчків, кутерів і емульситаторів;
- на основі отриманих результатів досліджень обґрунтувати напрями вдосконалення та розвитку конструкцій вовчків, кутерів і емульситаторів із суттєво підвищеними питомою продуктивністю, якістю обробки сировини та енергоефективністю;

– провести дослідно-промислові випробування вдосконалених машин та оцінити економічну ефективність запропонованих технічних рішень.

Об’єкти дослідження: процеси подачі та подрібнення м’ясної сировини у вовчках, кутерах і емульсаторів, зношування та напружено-деформований стан і втомна витривалість їх робочих органів.

Предмет дослідження: закономірності впливу конструктивних і кінематичних характеристик робочих органів вовчків, кутерів і емульсаторів на процеси гідродинаміки подачі та подрібнення сировини, їх взаємозалежність, взаємоузгодження і вплив на ефективність процесу, зношування та напружено-деформований стан і втомну витривалість робочих органів.

Методи досліджень: як теоретична база при постановці та конкретному вирішенні поставлених завдань використовуються основні положення механіки суцільного середовища, сучасні методи математичного моделювання складних технічних систем та процесів, експериментальні дослідження на спеціалізованому обладнанні з використанням відповідної виміральної та реєструючої апаратури, експериментальні методи вимірювання структурно-механічних властивостей сировини, методи математичного планування експериментів та статистичної обробки отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів: запропоновано, обґрунтовано та реалізовано концептуальну гіпотезу вдосконалення кутерів, вовчків і емульсаторів, яка ґрунтується на взаємоузгодженні гідродинаміки сировини, процесу її подрібнення та впливу на напружено-деформований стан, характеристики зношування і втомну витривалість робочих органів машин.

Вперше:

– запропоновано й обґрунтовано поняття науково-винахідницького біному як методологічного базису вдосконалення машин для подрібнення м’ясної сировини;

– встановлено особливості взаємодії ножів кутерів із сировиною, які полягають у такому:

- при подрібненні замороженої сировини в кутері з шістьма ножами на початкових та середніх стадіях подрібнення в процесі беруть участь усі шість ножів головки, на стадії тонкого подрібнення сировини – лише два;

- після взаємодії з ножами кутера сировина набуває високої кінетичної енергії, яка за рахунок дисипації при терті по чаші та кришці ножової головки кутера є джерелом додаткового шкідливого нагріву фаршу;

- на стадії тонкого подрібненні м’ясної сировини ніж кутера не контактує з нею однією зі своїх бокових поверхонь, що суттєвим чином розширює коло пошуку ефективних шляхів підвищення міцності ножів кутера;

– встановлено закономірності гідродинаміки руху сировини в робочих зонах вовчків і емульсаторів залежно від конструктивних і кінематичних параметрів робочих органів та робочих зон цих машин і структурно-механічних властивостей м’ясної сировини;

– доведено, що однозахідний шнек вовчка подає сировину в кожний момент часу в межах локального сектора, величина якого визначається, насамперед, наближенням витка шнека до решіток різального механізму;

- отримано закономірності залежності границі втомної витривалості ножів кутера при знакозмінних навантаженнях від виду зміцнювальної обробки та від особливостей геометричної форми ножів;

- встановлено, що ножі сучасних моделей кутерів працюють у діапазоні частот коливань, наближених до резонансу, що суттєво погіршує їх напружено-деформований стан;

- доведено, що осьовий рух сировини крізь різальний вузол є суттєвим чинником зношування різальних крайків ножів та решіток вовчка.

Набули подальшого розвитку:

- уявлення про процес винесення сировини із зони подрібнення за рахунок адгезійної взаємодії ножів кутера із сировиною;

- уявлення про інтенсивність зношування ножів кутера, які працюють у різних площинах різання;

- положення про вплив основних конструктивних і кінематичних параметрів вовчка та структурно-механічних властивостей сировини на продуктивність процесу подрібнення;

- уявлення про вплив швидкості подачі сировини та конструктивних і кінематичних параметрів робочих органів емульсатора на ефективність переробки сировини в ньому.

Практичне значення отриманих результатів. На основі запропонованої концепції вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини обґрунтовано та розроблено низку їх нових конструкцій і конструкцій їх різального інструменту. Запропоновано й обґрунтовано технологічні методи підвищення довговічності робочих органів машин. На запропоновані нові конструктивні рішення одержано вісім патентів України на винахід і сім патентів України на корисну модель. Розроблені технічні рішення з вдосконалення кутерів забезпечують підвищення продуктивності в 2,8 разу, зменшення капітальних вкладень на 62% та зменшення експлуатаційних витрат на 75%. Продуктивність вовчків підвищується в 1,8–2,2 разу, емульсаторів – в 1,4 разу. Водночас довговічність різального інструменту вовчків підвищується в 1,9–3,2 разу. Нагрів сировини в емульсаторі може бути знижений на 4 °С, а зносостійкість різального інструменту підвищена в 3,4 разу. Розроблено нові методики розрахунку основних конструктивних та кінематичних параметрів кутерів, вовчків і емульсаторів, які дають змогу коректніше врахувати їх вплив на процес подрібнення м'ясної сировини. Економічний ефект залежно від застосованих технічних рішень становить: для кутерів – 1 304 300 грн, для вовчків – до 344 000 грн, для емульсаторів – 220 000 грн.

Реалізація роботи. Окремі результати досліджень та методику проектувального розрахунку вовчків впроваджено у навчальний процес Черкаського державного технологічного університету. За результатами дослідження здійснено впровадження наукових результатів у виробництво на м'ясопереробному підприємстві ТОВ «Черкаська продовольча компанія» (м. Черкаси, акти від 17.01.2018 р., 11.04.2018 р., 25.04.2018 р.).

Особистий внесок здобувача полягає в самостійній розробці методик дослідження ефективності обробки сировини в кутерах, вовчках і емульсаторах, а також працездатності цих машин. Автором проведено експериментальні

дослідження подачі та процесів подрібнення сировини і параметрів роботи різального інструменту на лабораторних стендах та у виробничих умовах. Виконано аналіз отриманих результатів, сформульовано висновки й положення, які виносяться на захист. Усі результати досліджень, які наведено в дисертації, належать авторові й отримані на основі особистої наукової творчості.

Автору належать такі основні положення: математичні моделі руху сировини в робочих зонах машин, математичні моделі напружено-деформованого стану робочих органів машин, результати експериментальних досліджень закономірностей процесів обробки сировини в кутерах, вовчках і емульситаторах, розроблені конструкції машин та їх робочих органів.

Постановку окремих задач обчислювальної гідродинаміки в програмному комплексі FlowVision виконано за участю к.т.н. І. М. Литовченка (Національний університет харчових технологій). Автор висловлює подяку за сприяння у проведенні виробничих і лабораторних досліджень П. В. Іванову (ТОВ «Черкаська продовольча компанія»), О. А. Козію (ПП «Алнат», м. Черкаси), В. В. Чередніченку (ТОВ «Техпродсервіс»), О. В. Колесниченку, В. В. Книшу, С. О. Соловею (Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України), В. А. Леонцю та П. М. Копчевському (Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка).

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні наукові положення дисертації доповідалися на таких всеукраїнських та міжнародних конференціях і конгресі: Міжнародні наукові конференції «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, 2013, 2016, 2018, 2019 рр.); І науково-технічна конференція «Актуальні проблеми харчової промисловості» (м. Тернопіль, 2013 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології харчових виробництв» (м. Вінниця, 2015 р.); XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Вібрації в техніці та технологіях» (м. Дніпро, 2015 р.); І Міжнародна науково-практична конференція «Системи розробки та постановки продукції на виробництво» (м. Суми, 2016 р.); 8th Central European Congress on Food 2016 «Food Science for Well-being» (м. Київ, 2016 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність» (м. Харків, 2017, 2018 рр.), Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності» (м. Мелітополь, м. Кирилівка, 2017, 2019 рр.).

Публікації. Основні матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 57 наукових працях, у тому числі: 21 стаття у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України (з них 13 – у виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз даних); 8 патентів України на винахід; 7 патентів України на корисну модель; 1 підручник; 1 навчальний посібник; 19 тез доповідей та матеріалів конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 374 найменувань, у тому числі 72 зарубіжних, і шести додатків. Дисертація викладена на 574 сторінках машинописного тексту (основна частина – 289 сторінок), містить 60 таблиць та 227 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність і науково-практичну значущість проблеми підвищення питомої продуктивності, енергоефективності, працездатності вовчків, кутерів і емульсаторів, покращення якості обробки сировини на них, а також зниження вартості їх експлуатації. Сформульовано мету та завдання роботи, наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі «Аналіз сучасного стану вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини та завдання досліджень» на основі аналізу літературних джерел і узагальнення виробничого досвіду показано місце і науково-прикладне значення проблеми вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини (МПС).

Зроблено висновок, що основними видами машин для подрібнення м'ясної сировини є вовчки, кутери та емульсатори. Подальше вдосконалення саме цих видів обладнання для подрібнення м'ясної сировини здатне надати найбільший економічний ефект для м'ясопереробної галузі. Відзначено, що, незважаючи на їх багаторічне використання та дослідження процесів, які супроводжують роботу цих машин, проблеми вдосконалення конструкцій кутерів, вовчків і емульсаторів і надалі залишаються актуальними. Зокрема необхідно підвищити питому продуктивність, енергоефективність, працездатність вовчків, кутерів і емульсаторів, покращити якість обробки сировини в них, а також знизити вартість їх експлуатації.

Виходячи з наведеного, і було сформульовано завдання досліджень, мету та основні завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі «Методики досліджень, апаратура та обладнання для проведення експериментів» підібрано стандартні та розроблено спеціальні методики проведення досліджень: визначення параметрів процесів переробки сировини; високошвидкісної відеофіксації особливостей гідродинаміки сировини в робочих зонах машин; дослідження гідродинаміки сировини; визначення структурно-механічних та органолептичних властивостей сировини, напівфабрикатів і готової продукції; дослідження нагріву сировини під час переробки, а також нагріву робочих зон машин; дослідження напружено-деформованого стану та величини зношування робочих органів кутерів, вовчків і емульсаторів. Обґрунтовано методи математичної обробки результатів експериментальних досліджень.

Запропоновано використовувати науково-винахідницький біном як методологічний базис для вирішення технічних задач зі складними протиріччями. Науково-винахідницький біном являє собою системне взаємоінтегроване поєднання наукових досліджень та методологічних засобів аналізу і вирішення технічних протиріч. Таке їх поєднання дає можливість отримати синергетичний ефект та досягти успішного вирішення задач зі складними технічними протиріччями. Запропоновано алгоритми вирішення цих задач як у прямій, так і в зворотній їх постановці.

На основі використання науково-винахідницького бінома розроблено концепцію вдосконалення вовчків, кутерів і емульсаторів. Концепція дає змогу

швидко та чітко визначити найбільш прогресивні шляхи вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини і була використана при плануванні досліджень цієї дисертаційної роботи.

Одержані методологічні засади дають можливість суттєво інтенсифікувати вдосконалення вовчків, кутерів і емульсаторів та спрямувати цей розвиток у раціональних та економічно вигідних напрямках.

У третьому розділі «Гідродинаміка м'ясної сировини в робочих зонах машин» представлено результати досліджень параметрів подачі сировини в зони подрібнення кутерів, вовчків і емульсаторів та закономірностей впливу гідродинаміки подачі на процеси взаємодії сировини з лезами ножів.

Кутери. Виявлено, що при наявних конструктивних і кінематичних параметрах ножової головки і чаші кутера неможливо досягти значень товщини шару сировини $l_{mp.c.}$ (довжини траєкторії переміщення точки сировини чашею кутера, яка вимірюється поміж двома різальними діями ножів), коли б сировина подавалася під усі ножі, які розташовані в різних площинах різання (рис. 1), що є суттєвою причиною недостатньо високої питомої продуктивності кутера.

За результатами чисельного моделювання та аналізу високошвидкісної зйомки процесу кутерування встановлено закономірності адгезійної взаємодії м'ясної сировини з нижньою поверхнею ножа. Ця взаємодія обумовлює інтенсивний рух шарів сировини, що прилягають до ножа, разом із ним та після його проходження в напрямку його руху (рис. 2). Це призводить до зменшення кількості сировини, яка подається чашею кутера під наступний ніж цієї площини різання та, відповідно, до зменшення питомої продуктивності кутера.

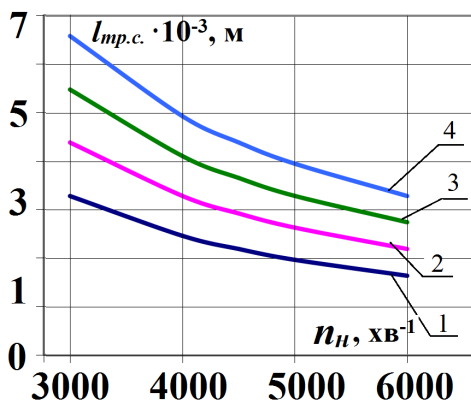


Рис. 1. Розрахункова залежність товщини шару сировини $l_{mp.c.}$ від частоти обертання ножів n_n при частоті обертання чаші: 1 – 9 хв^{-1} ; 2 – 12 хв^{-1} ; 3 – 15 хв^{-1} ; 4 – 18 хв^{-1}

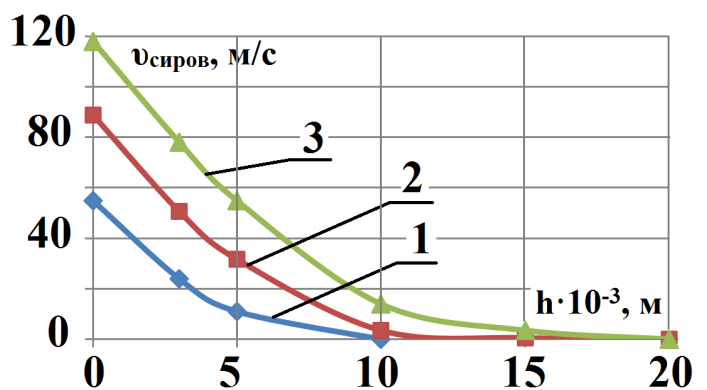


Рис. 2. Залежність швидкості сировини $v_{сиров.}$ від відстані до поверхні ножа h при тонкому подрібненні фаршу: 1 – на початку ножа; 2 – посередині; 3 – на кінці ножа

Експериментальне дослідження зношування різальних крайків ножів кутера, які встановлені в різних площинах різання, дало можливість виявити, що для ножів спостерігається неоднорідне зношування як по їх довжині, так і для однойменних точок різних ножів (рис. 3). Аналіз отриманих фактів дав змогу уточнити параметри

взаємодії лез із сировиною, які обумовлені площинами різання, конструктивними особливостями ножів і чаші кутера та реологічними властивостями сировини.



Рис. 3. Радіуси закруглення різальних крайків ножів ρ після кутерування тонкоподрібнених безструктурних фаршів

Шляхом проведення високошвидкісної зйомки процесу кутерування та чисельного моделювання руху сировини крізь зону подрібнення виявлено наступний характер гідродинаміки сировини при кутеруванні.

На початку процесу подрібнення замороженої сировини в процесі подрібнення задіяні усі шість ножів ножової головки. При подальшому перебігу процесу кутерування розмір заморожених шматків сировини зменшується, подрібнення здійснюється також

усіма ножами ножової головки. Кардинально відмінною є гідродинаміка сировини на етапі емульгування фаршу. Процес подрібнення здійснюється переважно ножами першої площини різання. Водночас основну роботу подрібнення виконує ніж, який першим занурився в сировину, що подається чашею кутера. Внаслідок високої швидкості руху ножа шар сировини, який відрізається, набуває високої кінетичної енергії і пролітає усю зону подрібнення без взаємодії з іншими ножами ножової головки (рис. 4).

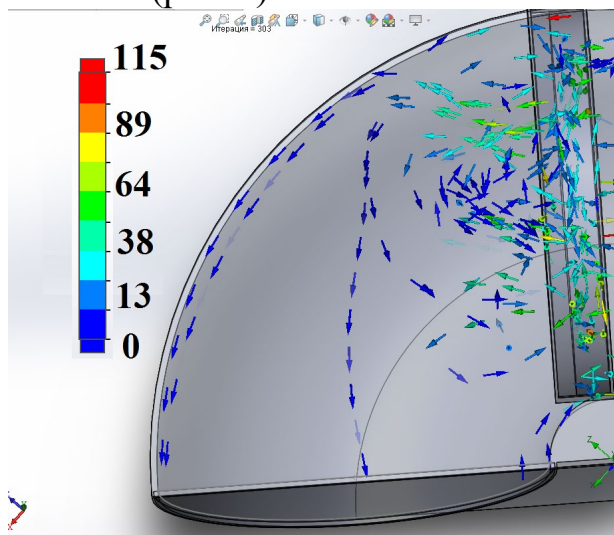


Рис. 4. Візуалізація результатів чисельного моделювання руху м'ясної сировини у внутрішньому об'ємі чаші кутера (швидкість сировини, м/с)

Далі відрізаний шар сировини гальмується об стінки чаші та об кришку ножової головки, що призводить до нагріву сировини. При відрізання зазначеного шару сировини ніж своєю боковою поверхнею активно взаємодіє із сировиною, яка подається чашею кутера, за допомогою сил адгезії. Це призводить до винесення частини сировини вгору разом із ножом і, як наслідок, до недостатньої кількості сировини перед проходженням наступного ножа цієї площини різання. Цим суттєво зменшується

продуктивність кутера.

Ножі другої і третьої площини різання виконують подрібнення лише кінцями своїх лез при проходженні крізь тонкі шари сировини, що налипають на поверхню чаші. В результаті із шести ножів ножової головки можна говорити про ефективну роботу 1,5 з них на етапі емульгування. Висока кінетична енергія шарів, що відрізаються ножами

першої площини різання, призводить до того, що на виході із зони подрібнення утворюється швидкісний потік сировини, який рухається вздовж стінок чаші, а також вгору у вільний об'єм кришки ножової головки. У відомих моделях кутерів кінетична енергія цього потоку корисно не використовується, більш того, означена особливість руху сировини є додатковим фактором нагріву сировини.

Встановлено, що при швидкісному кутеруванні з сировиною контактує поверхня заточки леза ножа та, деякою мірою, його нижня бокова поверхня, тоді як контакт сировини з верхньою боковою поверхнею на етапі емульгування сировини відсутній (рис. 5). Отримані результати докорінно змінюють уявлення про особливості контакту ножів кутера із сировиною, що є вагомим підґрунтям до подальшого вдосконалення різального інструменту кутерів.

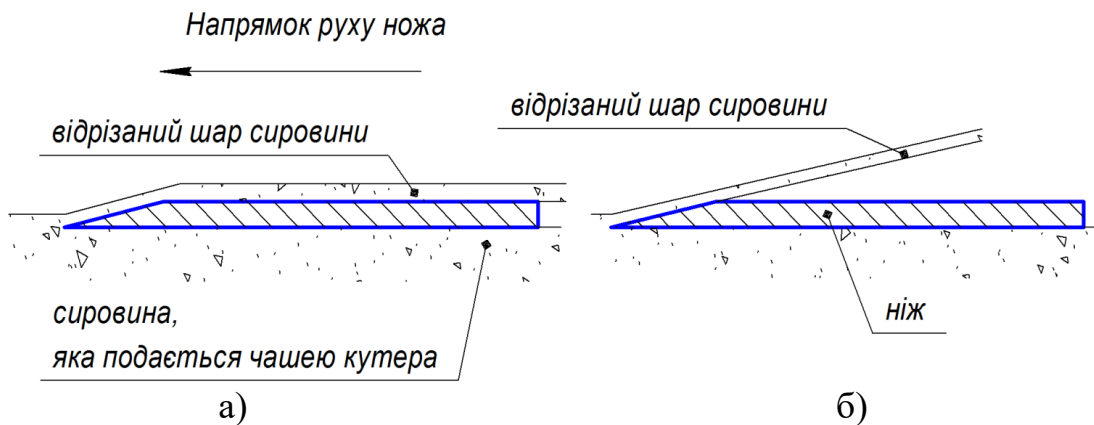


Рис. 5. Схеми обтікання сировиною ножів кутера: а) за раніше відомими уявленнями; б) за встановленими результатами досліджень

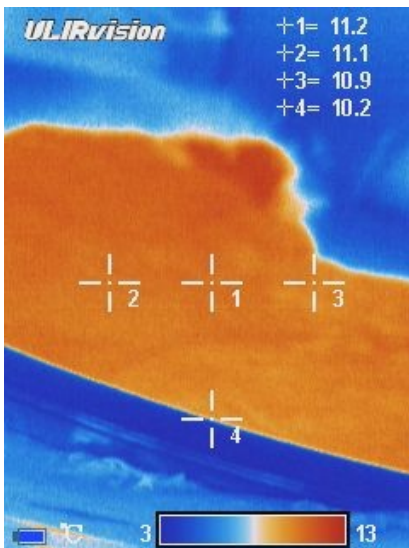


Рис. 6. Поля температур сировини при виході із зони подрібнення кутера

В результаті термографії сировини при кутеруванні встановлено (рис. 6), що важливим фактором нагрівання сировини при кутеруванні є її інтенсивне тертя об поверхні чаші та кришки ножової головки внаслідок високої кінетичної енергії після відкидання ножами першої площини різання. Врахування цього явища при проектуванні та модернізації кутерів дає змогу зменшити нагрів сировини та підвищити продуктивність цього типу машин.

Вовчки. В результаті проведеного аналізу основних закономірностей подачі та процесу подрібнення м'ясної сировини у вовчках встановлено, що існуючі уявлення про зазначені процеси не повною мірою пояснюють їх реальний перебіг, зокрема ефект подачі сировини лише частиною останнього витка шнека.

Експериментально досліджено вплив положення лез ножа вовчка в коловому напрямку відносно кінця витка робочого шнека на ефективність їх роботи.

Встановлено (рис. 7), що величина зношування для різних лез ножа набуває різних значень. Це свідчить про те, що в кожний момент

часу подача сировини в різальний вузол здійснюється не по всій площині решітки, а лише в межах певного сектора (з кутом $90\dots 120^\circ$), величина якого визначається наближенням поверхні витка шнека до решітки.

Експериментально встановлено характерні особливості інтенсивності подачі сировини останнім витком однозахідного шнека вовчка. Величина сектора подачі сировини залежить від конструктивних параметрів шнека та від структурно-механічних властивостей сировини (рис. 8). У той же час при використанні як пристрою для подачі сировини двозахідного шнека або ексцентрово-лопатевого насоса леза ножа мають майже однаковий радіус закруглення, що свідчить про подачу сировини в кожний момент часу по всій площі решітки.

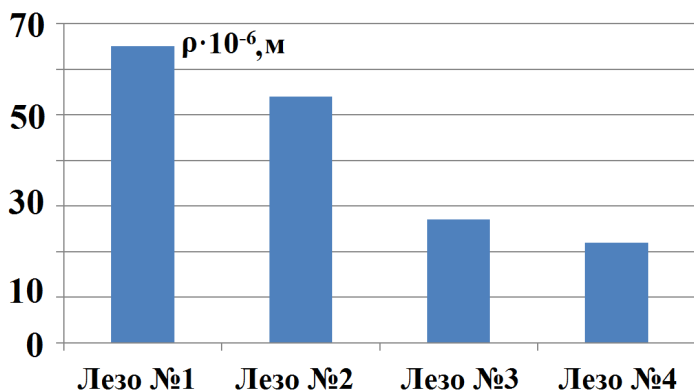


Рис. 7. Залежність радіуса закруглення ρ різального крайка лез ножа вовчка МП-160 з боку приймальної решітки (10 годин напрацювання)

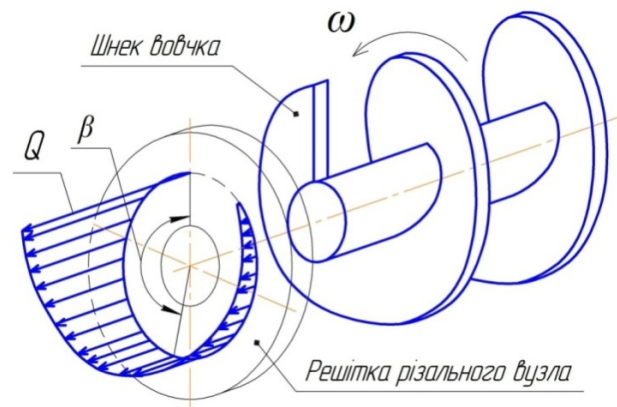


Рис. 8. Епюра інтенсивності подачі сировини окремими зонами останнього витка шнека вовчка: Q – об'ємна витрата сировини; β – кут зони інтенсивної подачі сировини; ω – кутова швидкість обертання шнека

Шляхом чисельного моделювання гідродинаміки руху сировини при обертанні шнека виявлено характер впливу конструктивного виконання шнека на величину кута, який окреслює зону подачі сировини шнеком у різальний вузол. Встановлено (рис. 9), що шнекам із меншим кутом підйому витків α властиві як більші максимальні відносні деформації ε сировини в зоні перед різальним вузлом, так і вищі середні значення відносної деформації.

Розроблено комплексну систему математичного моделювання процесів роботи робочих органів вовчка. Продуктивність вовчка G , кг/с запропоновано визначати за виразом

$$G = K_Q (Q_{осн.} - Q_{в.к.} - Q_{в.з.}) \cdot \rho, \quad (1)$$

де K_Q – коефіцієнт продуктивності; $Q_{осн.}$ – основний потік сировини, який створюється шнеком, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{в.к.}$ – зворотний потік сировини вздовж гвинтового каналу шнека, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{в.з.}$ – зворотний потік сировини крізь зазор між зовнішньою поверхнею витків шнека та внутрішньою поверхнею робочого циліндра, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ – густина сировини, $\text{кг}/\text{м}^3$.

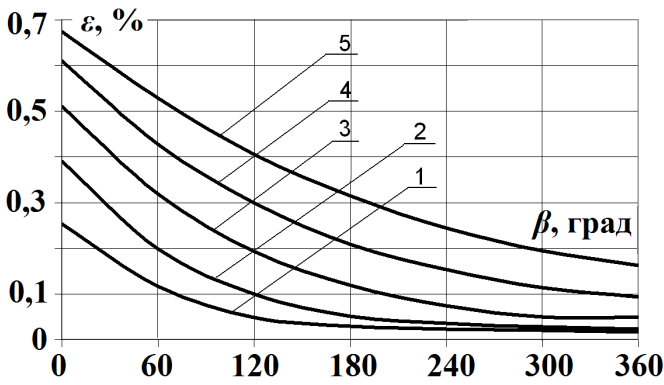


Рис. 9. Розрахункова залежність відносної деформації сировини ε від значення кута β для шнеків вовчка з кутом підйому витків: 1– $\alpha=17^\circ$; 2– $\alpha=13^\circ$; 3– $\alpha=10^\circ$; 4– $\alpha=7^\circ$; 5– $\alpha=4^\circ$

На основі рівняння нерозривності потоку, рівняння руху, рівняння енергії та рівнянь реологічного стану сировини побудовано математичну модель подачі сировини до різального комплексу шнеком вовчка і отримано наступні вирази по визначенню окремих складових результуючого потоку:

– прямий потік уздовж шнека:

$$Q_{осн.} = \frac{\pi^2 D_{ш}^2 \cdot n_{ш} \cdot h_g \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{2}; \quad (2)$$

– зворотний потік уздовж гвинтового каналу:

$$Q_{в.к.} = \frac{\pi D_{ш} h_g^3 \cdot \sin^2 \alpha \cdot (p_2 - p_1)}{12\psi L_{1,2}}; \quad (3)$$

– зворотний потік у зазорі між шнеком та циліндром:

$$Q_{в.з.} = \frac{\pi^2 \cdot D_{ш}^2 \cdot \delta^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot (p_2 - p_1)}{12\psi \cdot b L_{1,2}}; \quad (4)$$

де $n_{ш}$ – частота обертання шнека, с^{-1} ; α – кут підйому витків шнека, град; $D_{ш}$ – зовнішній діаметр шнека, м; h_g – глибина гвинтового каналу шнека ($h_g = D_{ш} - d_{ш}$), м; $d_{ш}$ – діаметр вала шнека, м; δ – зазор між шнеком та робочим циліндром, м; b – товщина витка, м; $p_2 - p_1$ – перепад тиску на довжині $L_{1,2}$, Па; $L_{1,2}$ – довжина, м; ψ – модуль в'язко-пружних властивостей м'ясної сировини, Па·с, причому:

$$\psi = \frac{E_{\mu} \cdot E_S \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1}{t_2}}\right) \cdot (t_1 - t_2)}{\left(E_S \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1}{t_2}}\right) + E_{\mu} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1}{t_2}}\right) + E_{\mu}\right)}, \quad (5)$$

де E_{μ} – модуль миттєвого деформування тіла, Па; E_S – модуль рівноважної еластичності та післядії, Па; t_1 – період релаксації напружень, с; t_2 – період післядії, с.

Розроблено методику аналітичного визначення коефіцієнта продуктивності вовчка, яка дає можливість відобразити фізичну сутність ефекту, за якого під час обертання шнека вовчка нагнітання сировини відбувається лише в певному секторі робочої площі решітки. Коефіцієнт враховує структурно-механічні властивості сировини, геометрію шнека, величину опору різального вузла та будову ножів:

$$K_Q = \frac{\beta_{\max}}{360} - \frac{4S_l^{акм} \cdot z_l^{акм}}{\varphi \cdot \pi (D_p^2 - d_p^2)}, \quad (6)$$

де β_{\max} – максимальне значення кута, який окреслює зону подачі сировини шнеком у різальний вузол, град.

Кінцевий вираз має вигляд:

$$K_Q = 1 - \frac{S_l^{акт} \cdot z_l^{акт}}{\varphi \cdot \frac{\pi}{4} (D_p^2 - d_p^2)} - \left(\theta_{пен} \cdot \left(\frac{1 - \varphi}{\varphi} \right) + \theta_{зр} + \left(\frac{q_0}{k_\delta} \right) \cdot e^{\frac{4f \cdot k_\delta \cdot B_p}{d_0}} - \frac{q_0}{k_\delta} \right) \times$$

$$\times \left(\frac{\varphi \cdot k_{пром} \cdot H_o}{E \cdot H_{зан.}} \right) \left(\frac{\pi \cdot n_{ш} \cdot e^{a_v} (D_{ш} - h) \sin \alpha}{v_1 \cdot \cos \gamma_{mp}} \cdot \cos(\alpha + \gamma_{mp}) \right)^{b_v}, \quad (7)$$

де D_p – зовнішній діаметр решітки, м; d_p – діаметр центрального отвору решітки, м; $S_l^{акт}$ – площа фронтальної проекції леза ножа, яке знаходиться в зоні подачі сировини, що окреслена кутом β_{\max} , м²; $z_l^{акт}$ – кількість лез ножа, які знаходяться в зоні подачі сировини, що окреслена кутом β_{\max} , шт; $k_{пром}$ – емпіричний коефіцієнт збільшення опору різального вузла внаслідок збільшення відстаней між окремими решітками на величини товщини ножів, які становлять різальні пари з решітками; φ – коефіцієнт використання робочої площі вихідної решітки; $\theta_{пен}$ – напруження пенетрації сировини при обтіканні перемичок між отворами решітки, Па; $\theta_{зр}$ – напруження зрізу сировини при вдавленні в отвори решітки, Па; E – модуль пружності при стисканні, Па; f – коефіцієнт тертя сировини об стінки каналу; B_p – товщина решітки, м; d_0 – діаметр отворів решітки, м; q_0 – залишковий боковий тиск, Па; k_δ – коефіцієнт бокового тиску; a_v , b_v – емпіричні коефіцієнти збільшення опору різального вузла внаслідок збільшення швидкості подачі сировини, значення яких залежить від подовження отворів решітки та виду сировини; γ_{mp} – кут тертя сировини об поверхню шнека; $n_{ш}$ – частота обертання шнека, с⁻¹; v_1 – одинична швидкість сировини, м/с; H_o – крок міжвиткового простору шнека в межах останнього витка, м; $H_{зан.}$ – крок міжвиткового простору шнека, в якому коефіцієнт його заповнення сировиною дорівнює 1 м.

Точність отриманих виразів по визначенню продуктивності знаходиться в межах 5...7 % відносно експериментальних значень.

Результати аналітичних досліджень дають можливість пояснити подачу сировини шнеком вовчка в межах локальної зони робочої площі решітки і, відповідно, запропонувати основні шляхи вдосконалення вовчків, які базуються на цьому ефекті.

На основі отриманих шляхом математичного моделювання аналітичних залежностей та результатів експериментальних досліджень набули подальшого розвитку (рис. 10) положення про вплив основних конструктивних і кінематичних параметрів вовчка (зовнішнього діаметра вихідної решітки D_p , кута підйому витків шнека α , частоти обертання шнека $n_{ш}$, товщини вихідної решітки B , зовнішнього діаметра шнека $D_{ш}$, глибини витка шнека h_δ , зазору між шнеком та робочим циліндром δ , товщини витка b , площі фронтальної проекції лез ножа S_l) та структурно-механічних властивостей сировини (модуля осьового стискання E , напруження стандартної пенетрації θ_0 , напруження зрізу $\theta_{зр}$) на продуктивність процесу подрібнення.

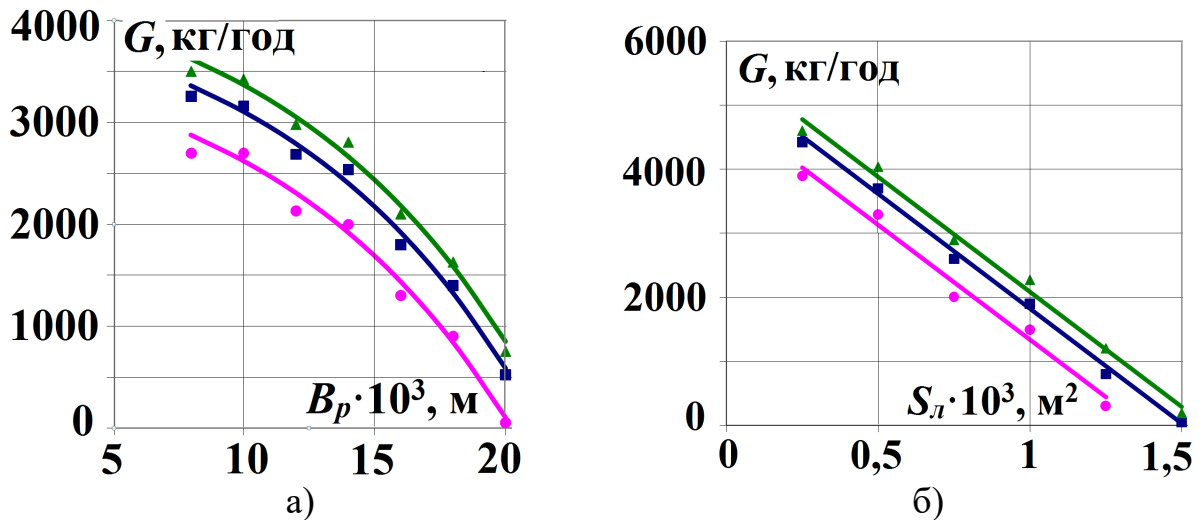


Рис. 10. Залежність продуктивності вовчка G від: а) товщини вихідної решітки B_p ; б) площі фронтальної проекції лез ножа $S_{\text{л}}$, який контактує з вихідною решіткою для сировини різного виду (■ – яловичини; ● – свинини; ▲ – м'яса курки)

Для точнішого визначення раціональних параметрів обладнання виконано статистичний аналіз впливу конструктивних і кінематичних параметрів робочих органів вовчка на його продуктивність за допомогою рототабельного центрально-композиційного планування (РЦКП) багатofакторного експерименту.

Отримано коефіцієнти комплексного рівняння множинної регресії 2-го порядку:

$$G = -80127 + 702987D_p + 3249n_{\text{ш}} + 3256\alpha + 1224813S_{\text{л}} + 2151062B_p - 2550000D_p^2 - 367n_{\text{ш}}^2 - 349\alpha^2 - 8718750S_{\text{л}}^2 - 88750000B_p^2 + 4750D_p \cdot n_{\text{ш}} + 5125D_p \cdot \alpha + 2468750D_p \cdot S_{\text{л}} - 812500D_p \cdot B_p + 4062n_{\text{ш}} \cdot S_{\text{л}} - 33125n_{\text{ш}} \cdot B_p - 19063\alpha \cdot S_{\text{л}} - 36250\alpha \cdot B_p. \quad (8)$$

Визначено раціональні технологічні параметри роботи вовчка: $D_p=0,15 \dots 0,155$ м; $n_{\text{ш}}=4,5 \dots 5,2$ с⁻¹; $\alpha=4,8 \dots 5,5^\circ$; $S_{\text{л}}=0,001 \dots 0,0011$ м²; $B_p=0,0075 \dots 0,0082$ м.

Результати експериментальних досліджень дали змогу запропонувати шляхи вдосконалення вовчків та визначити основні залежності, які можуть бути при цьому використані.

Досліджено вплив напружено-деформованого стану м'ясної сировини (яловичини та свинини) на ефективність її подачі крізь решітки різального вузла (рис. 11, 12). Отримані результати дають змогу пояснити подачу сировини шнеком вовчка в межах певного сектора площі решітки (сировина продавлюється крізь отвори решіток тільки при досягненні необхідного значення відносної деформації, що, в свою чергу, серед іншого, залежить від геометрії шнека).

Вони можуть бути використані для визначення значень перепаду тиску ($p_2 - p_1$) (1–4) і коефіцієнтів $k_{\text{пром}}$, a_v , b_v (7) при розрахунках продуктивності вовчка. При виборі типу фаршевого насоса вовчка необхідно віддавати перевагу тому, в якому буде забезпечено найменшу відстань від нагнітального елемента до різального

вузла. Таке виконання фаршевого насоса дасть можливість зменшити енерговитрати на процес продавлювання та покращити якість продукту, не піддаючи сировину надмірному стисканню.

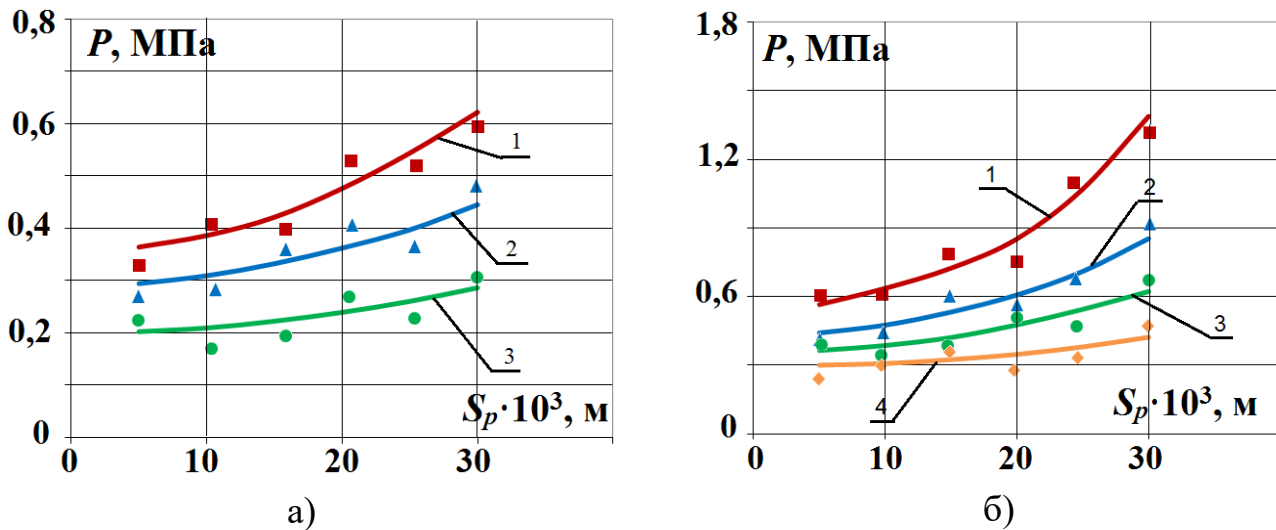


Рис. 11 . Залежність гідравлічного опору P від товщини пакета решіток S_p (для свинини): а) за діаметрів отворів d , 10^{-3} м: 1 – 8; 2 – 5; 3 – 3; б) при $d=3 \cdot 10^{-3}$ м та при різних швидкостях продавлювання сировини v , м/с: 1 – 0,07; 2 – 0,05; 3 – 0,03; 4 – 0,01

Уточнено значення структурно-механічних властивостей м'ясної сировини, яка найчастіше переробляється у вовчках. Встановлено, що найбільший модуль осьового стискання властивий яловичині (456 кПа), для свинини та м'яса курки він набуває менших значень (144 кПа та 108 кПа відповідно). Найбільше напруження стандартної пенетрації спостерігається для яловичини (172 кПа), тоді як для свинини та м'яса курки – 83 кПа та 48 кПа відповідно. Аналогічним чином, найбільше напруження зрізу при різанні лезом з кутом загострення 90° спостерігається для яловичини (467 кПа), тоді як для свинини – 277 кПа, а для м'яса курки – 141 кПа. Отримані дані можуть бути використані при визначенні напруження пенетрації $\theta_{пен}$, напруження зрізу $\theta_{зр}$ та модуля пружності м'ясної сировини при стисканні E для вирахування коефіцієнта продуктивності вовчка K_Q (7).

Емульситатори. Шляхом експериментальних досліджень виявлено вплив швидкості руху сировини крізь різальний вузол емульситатора на його технологічні показники та структурно-механічні властивості готового продукту. Витрата сировини крізь різальний вузол суттєвим чином впливає на величину її нагріву (рис. 12). Решітці з отворами $\varnothing 1$ мм та радіальними ребрами жорсткості відповідають суттєво вищі значення температури, ніж решітці з отворами $\varnothing 1,2$ мм без ребер жорсткості.

При збільшенні витрати сировини з 3000 кг/год до 4200 кг/год величина нагріву зменшується в 1,78 разу для решітки першого типу та в 1,67 разу для решітки другого типу. Структурно-механічні властивості змінюються наступним чином. Напруження стандартної пенетрації збільшується при збільшенні подачі сировини. Однак максимальне та мінімальне значення напруження стандартної

пенетрації Θ_0 різняться між собою не більш ніж на 16 % для решітки з отворами $\varnothing 1$ мм і на 13,5 % для решітки з отворами $\varnothing 1,2$ мм. Зміна значень модуля осьового стискання E аналогічна зміні значень напруження стандартної пенетрації.

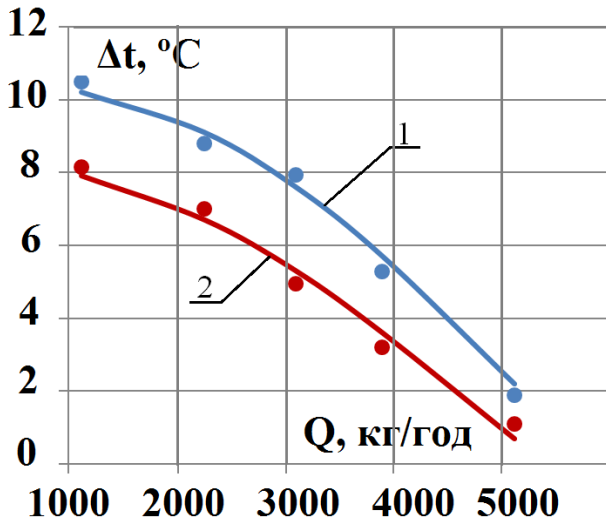


Рис. 12. Вплив витрати сировини Q крізь різальний вузол емульсатора на величину її нагріву Δt при використанні вихідних решіток: 1 – з отворами $\varnothing 1$ мм та радіальними ребрами жорсткості; 2 – з отворами $\varnothing 1,2$ мм

Отримані результати дають можливість зробити висновок про те, що в наявних конструкціях емульсаторів з гравітаційною подачею сировини швидкість її подачі є недостатньою. Існує резерв збільшення швидкості подачі сировини до різального вузла на 30–40 % без погіршення якості отриманого продукту. Таке збільшення швидкості подачі сировини дасть змогу одночасно збільшити продуктивність машини та зменшити шкідливий нагрів самої сировини. Актуальним є дослідження способів гравітаційної подачі сировини до різального вузла емульсатора з метою знаходження раціональних шляхів збільшення швидкості її подачі.

Аналіз результатів високошвидкісної зйомки процесу витікання сировини з вивантажувального патрубку вказує, що наявна характерна систематична пульсація об'ємної витрати сировини при її русі крізь вивантажувальний патрубок. Це підтверджує припущення про неоднакову завантаженість лез ножів сировиною та про недостатню швидкість її витікання з бункера.

Дослідження впливу конструктивного виконання бункерів емульсатора (рис. 13) на швидкість подачі сировини математичними й експериментальними методами дало змогу встановити, що найбільшу пропускну здатність показав бункер (тип 2) з яскраво вираженою несиметричністю геометрії (рис. 14, а). Найменшу (на порядок) пропускну здатність показав бункер з горизонтальним патрубком (рис. 14, б).

В такому бункері емульсатора наявні характерні зони руху сировини, які призводять до її гальмування і, відповідно, до зменшення питомої продуктивності машини та до підвищеного нагріву сировини при її подрібненні в різальному вузлі (рис. 15). На основі результатів проведених досліджень вироблено рекомендації для розробки нової конфігурації бункера емульсатора з підвищеною швидкістю подачі сировини до різального вузла.

Вивчення особливостей гідродинаміки сировини при її проходженні крізь різальний вузол емульсатора дало можливість виявити, що прийнята частота

обертання вивантажувальної крильчатки є надлишковою, оскільки спостерігається надлишкове непродуктивне тертя сировини об стінки кожуха, що призводить до додаткового нагріву сировини. З метою усунення цього недоліку емульсатор доцільно оснастити вивантажувальним пристроєм з індивідуальним приводом.

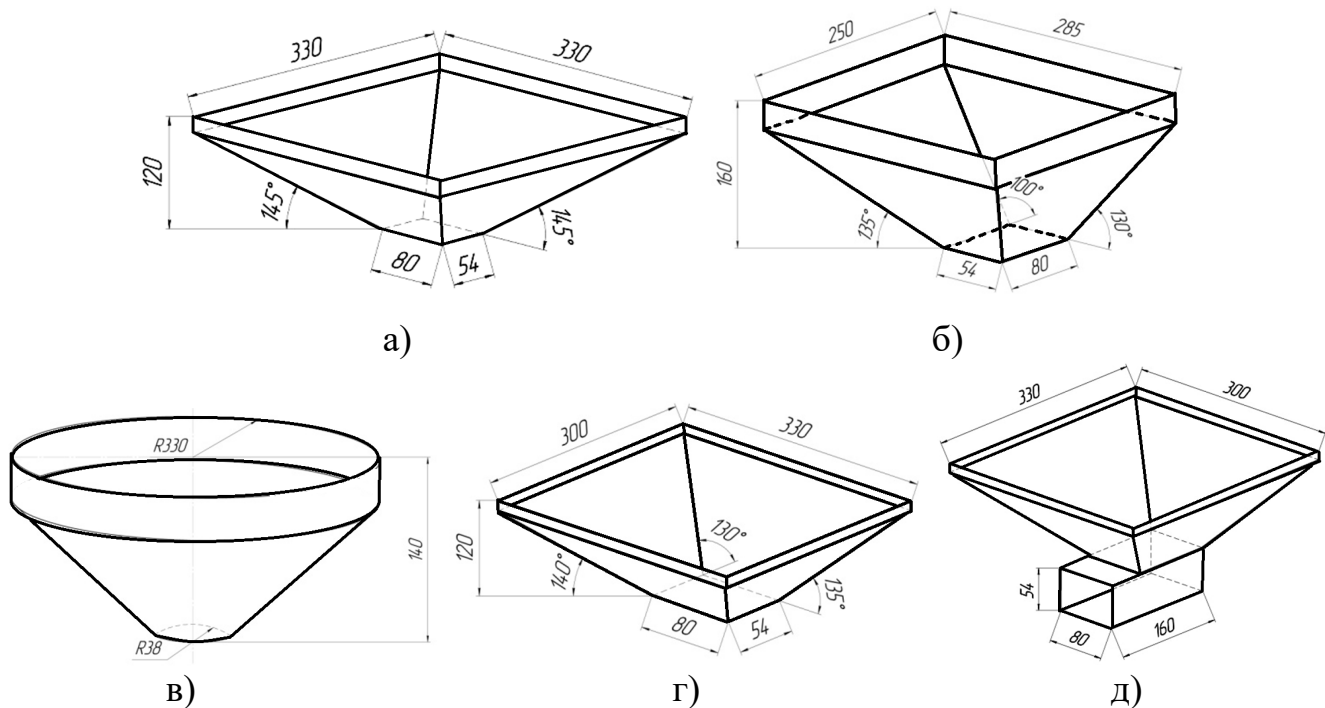


Рис. 13. Геометричні параметри моделей бункерів для емульсаторів різних марок: а) Laska Nannokutter FZ-175 (тип 1); б) Stephan MCH-D (тип 2); в) KILIA FineCUT 4000/6000 (тип 3); г) Karl Schnell FD-175 без горизонтального патрубка (тип 4); д) Karl Schnell FD-175 з горизонтальним патрубком (тип 5)

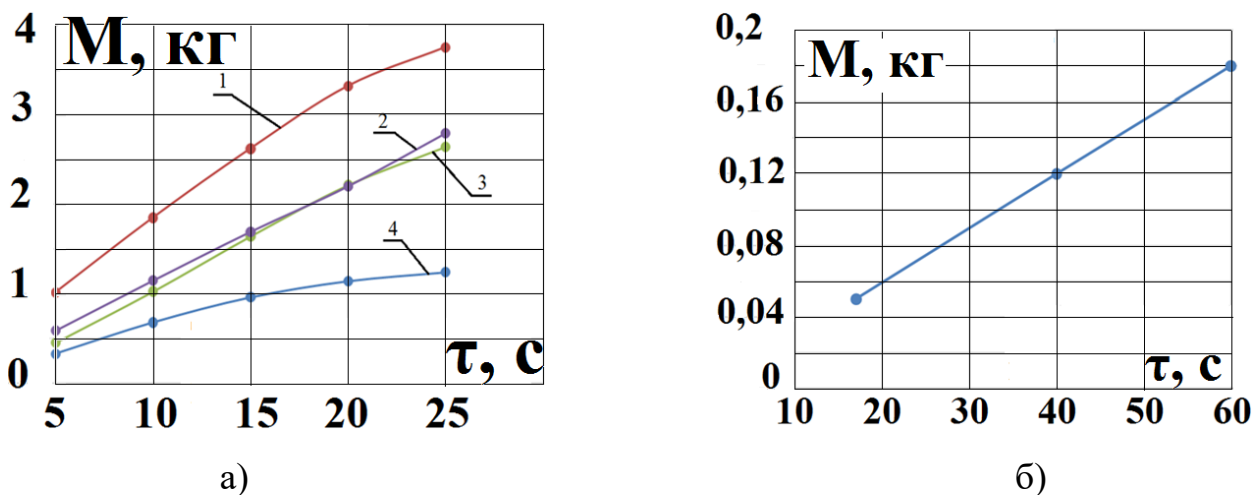


Рис. 14. Залежність витрати маси M сировини від часу τ при її витіканні з бункерів: а) 1 - типу 2; 2 - типу 3; 3 - типу 4; 4 - типу 1; б) типу 5

Досліджено структурно-механічні властивості сировини, яка найчастіше переробляється в емульсаторах. Встановлено, що найбільший модуль осьового стискування властивий фаршу для ковбаси лікарської (20,20 кПа), для фаршу сарделенок свинячих він набуває меншого значення (14,04 кПа). Найбільше

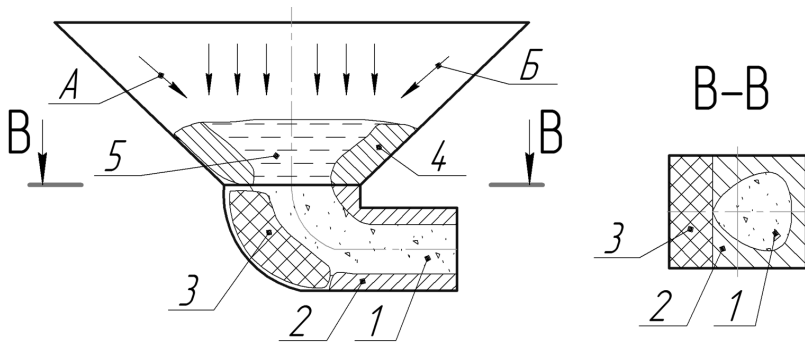


Рис. 15. Характерні зони руху м'ясної сировини в бункері типу 5: 1 – рух сировини з найбільшою швидкістю; 2 – гальмування сировини внаслідок тертя об стінки патрубку; 3 – застійна зона; 4 – гальмування сировини внаслідок тертя об стінки; 5 – зниження швидкості внаслідок зустрічі різнонаправлених потоків

(корозійностійка сталь AISI 304, фторопласт-4), не дають можливості поліпшити витратні характеристики їх бункерів і, таким чином, зменшити нагрів сировини при подрібненні.

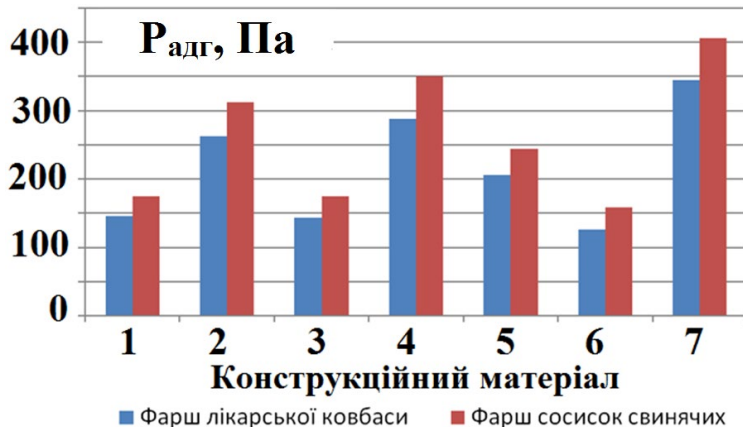


Рис. 16. Значення адгезії $P_{адг}$ для конструкційних матеріалів: 1 – сплав ВТ1-0; 2 – сталь AISI304; 3 – сталь 40X13; 4 – корозійностійка сталь 12X18Н10; 5 – алюмінієвий сплав АМГ3; 6 – мідь М1Т; 7 – фторопласт-4

Доцільною є заміна таких конструкційних матеріалів на мідь М1Т або титановий сплав ВТ1-0. Отримані дані можуть бути використані при обґрунтуванні високопродуктивних способів подачі м'ясного фаршу до різального вузла емульсаторів.

У четвертому розділі «Напружено-деформований стан і довговічність робочих органів машин для подрібнення м'ясної сировини» наведено результати досліджень довговічності робочих органів кутерів, вовчків і емульсаторів.

Виконано детальний аналіз комплексу причин та наслідків руйнування ножів кутерів. Дано порівняльну оцінку конструктивних і технологічних характеристик найбільш поширених типів ножів вітчизняних та зарубіжних виробників. Обґрунтовано актуальність проведення досліджень напружено-деформованого стану

напруження стандартної penetрації спостерігається також для фаршу ковбаси лікарської (7,71 кПа), тоді як для фаршу сарделюк свинячих – 7,02 кПа відповідно.

Найменші значення адгезії (рис. 16) властиві міді М1Т, титановому сплаву ВТ1-0 та конструкційній сталі Ст3. Натомість корозійностійкій сталі AISI 304, фторопласту-4 та сталі 40X13 властиві найбільші значення адгезії. Ці результати свідчать про те, що ті види та марки матеріалів, які зазвичай рекомендуються для виготовлення конструкційних

елементів емульсаторів

ножів кутерів і пошуку шляхів підвищення їх статичної, динамічної та втомної міцності.

Чисельним моделюванням встановлено значення тисків, які діють на ножі кутера за різних умов їх роботи (рис. 17). Отримані при чисельному моделюванні результати було апроксимовано методом найменших квадратів, в результаті чого отримано наступне рівняння множинної регресії:

$$P = -4,69 + 0,32 \cdot \beta^2 + 0,0261 \cdot v + 0,0035 \cdot \eta, \quad (9)$$

де P – значення тиску, МПа; β – кут загострення леза, град.; v – швидкість різання, м/с; η – в'язкість сировини, Па·с.

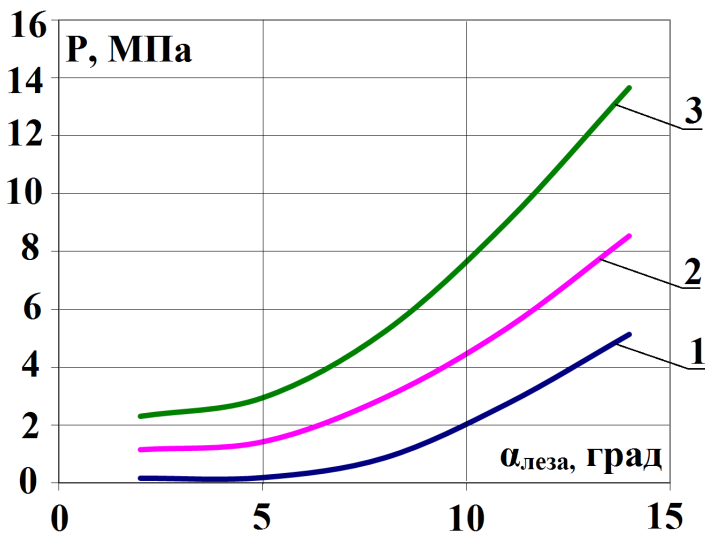


Рис. 17. Середні значення тиску P , який діє на переріз ножа при кутеруванні, залежно від кута загострення леза $\alpha_{\text{леза}}$ при швидкості різання $v=125$ м/с та наступних значеннях в'язкості сировини: 1 – $\eta=30$ Па·с; 2 – $\eta = 200$ Па·с; 3 – $\eta=700$ Па·с

Встановлено, що зміна кута загострення леза істотно впливає на тиск, який діє на поверхню леза ножа. Так, при швидкості потоку 50 м/с зміна кута від 2° до 14° призводить до зміни тиску на лезо від 0,05 МПа до 1,37 МПа залежно від в'язкості сировини. При швидкості потоку 200 м/с тиск на лезо змінюється відповідно від 0,69 МПа до 13,66 МПа. Водночас більшій в'язкості потоку сировини відповідає більш яскраво виражене підвищення тиску при збільшенні кута загострення. Отримані результати дають змогу врахувати вплив конструктивних і технологічних факторів процесу на силове навантаження на ніж і, відповідно, підвищити точність розрахунку ножів на міцність та межу втомної витривалості.

Шляхом математичного моделювання із використанням чисельних методів встановлено, що ножі кутера всіх досліджених типів при використанні їх у сучасних високошвидкісних машинах працюють в області частот коливань, наближених до резонансу. Для ножів усіх типів при виконанні їх мінімальної питомої товщини спостерігається явище резонансу в діапазоні робочих частот обертання ножових головок сучасних кутерів. Для ножів типу Seydelmann резонанс спостерігається (рис. 18) для усіх значень масштабного коефіцієнта k (відношення довжини ножа до його товщини). Значення резонансних частот коливання ножів зображено на рисунку пунктиром.

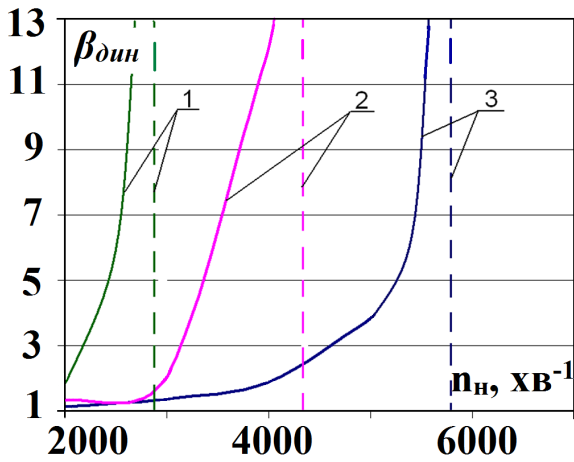


Рис. 18. Залежність коефіцієнту динамічності $\beta_{дин}$ від частоти n_n обертання ножа Seydelmann при різних значеннях масштабного коефіцієнту k :
1 – 85,7; 2 – 60; 3 – 42,9

Найбільш жорсткими можна вважати ножі типу Alpina, а також типу Л5-ФКБ. Звертає увагу на себе той факт, що для ножів типів Laska, Kilia, Alpina, Л5-ФКБ навіть при виконанні їх максимальної питомої товщини спостерігається підвищення коефіцієнта динамічності в межах $\beta=1,04-2,24$, що викликає пропорційне підвищення деформацій і напружень, які можуть бути визначені для ножів за умов статичного навантаження. На практиці це призводить до різкого збільшення напружень у зонах найбільшої їх концентрації, чим і можна пояснити поломку ножів у цих зонах. Отримані результати вказують на необхідність пошуку ефективних шляхів підвищення вібростійкості ножів кутера, які б дали змогу підвищити їх міцність без погіршення технологічних властивостей.

Відповідно до цього проведено експериментальне дослідження втомної міцності зразків, які виготовлені за технологією виготовлення ножів кутера, а також зразків, зміцнених імпульсно-плазмовою обробкою та високочастотним механічним проковуванням (рис. 19). Як показали отримані результати, високочастотне механічне проковування дає змогу підвищити втомну витривалість сталі 65Г до 2,5 разу. В той же час імпульсно-плазмове зміцнення призводить до зменшення втомної витривалості в 3–3,5 разу.

Проведені дослідження з використанням чисельних методів моделювання дали можливість встановити, що геометрична форма ножів кутера суттєвим чином впливає на їх довговічність при знакозмінних навантаженнях. Найменші значення витривалості показали ножі «Laska універсальний» - $2,2 \cdot 10^4$ циклів, «Laska для сирокоччених ковбас» - $2,2 \cdot 10^4$ циклів та Seydelmann - $2,4 \cdot 10^4$ циклів (рис. 20). Ножі інших марок (Alpina, Kilia, Л5-ФКБ) мають значно вищу витривалість ($4,2 \cdot 10^5$, $1 \cdot 10^6$ циклів і вище). Для забезпечення високої витривалості ножів при напрацюванні на втому доцільно виконувати корпус ножа підвищеної ширини та уникати наявності різких переходів геометрії задля усунення концентраторів напружень. Корисним буде підвищення товщини ножа в найбільш напружених ділянках його корпусу.

Задля визначення напружено-деформованого стану ножів вовчка відомих конструкцій було застосовано методи чисельного моделювання з використанням створених 3D-моделей конструкцій ножів вовчка. Визначення напружень проводилось у найбільш характерних точках (1–5).

На основі результатів чисельних експериментів доведено (рис. 21), що, на відміну від відомих припущень, при рівномірному навантаженні лез ножа використання в конструкції лише силового кільця (без опорного леза) не приводить до суттєвого підвищення міцності лез.

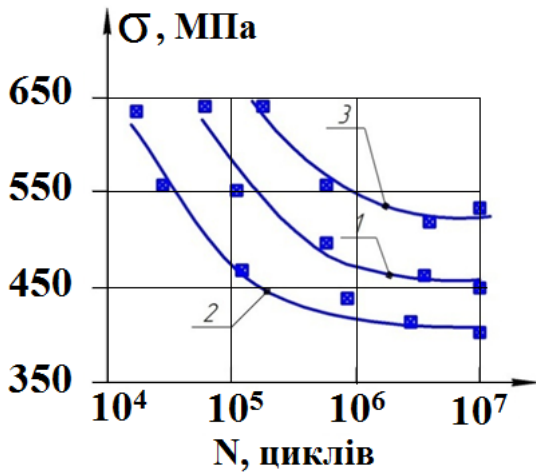


Рис. 19. Криві втоми сталі 65Г:
 1 – звичайний зразок;
 2 – зміцнений імпульсно-плазмовою обробкою; 3 – зміцнений високочастотним механічним проковуванням

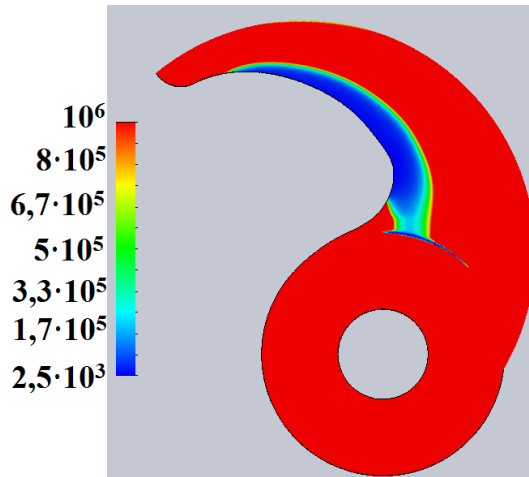


Рис. 20. Результати чисельного моделювання довговічності ножів кутера Seydelmann при знакозмінних навантаженнях (кількість циклів навантаження до руйнування)

Отримані результати повністю відповідають результатам досліджень гідродинаміки сировини при її подачі шнеком у межах певного сектора. Силоче кільце в ножах саме тому істотно підвищує міцність лез, що одні леза беруть участь у процесі різання, а інші – ні. Тобто, навантаження, що сприймається лезами, які приймають участь в подрібненні, через силоче кільце спрямовується на леза, які в процесі подрібнення участі не беруть.

В результаті серії чисельних експериментів виявлено, що залежність напружень у решітках вовчків від їх товщини має лінійний характер. В усіх досліджених решітках забезпечувалася умова неперевищення допустимих напруг під дією робочих навантажень. Однак за величинами деформацій виконувати решітку товщиною, меншою 10,2 мм, недоцільно, оскільки в такому разі максимальний прогин перфорованої частини буде більшим за 0,02 мм, чим значно погіршаться умови подрібнення сировини.

Чисельні дослідження напружено-деформовано стану решіток емульситатора з радіальними ребрами жорсткості (рис. 22) дали можливість встановити, що максимальні значення напружень для них становили 309,2 МПа при коефіцієнті запасу міцності 1,29. Найбільш напруженими ділянками решітки є місця кріплення ребер жорсткості до зовнішнього кільця жорсткості. Це, згідно з теорією опору матеріалів, пояснюється деформацією згинання ребер жорсткості при деформації решітки під дією прикладеного навантаження. З урахуванням цього бажано проектувати решітки емульситатора з елементами жорсткості, які працюватимуть на стискання чи на розтяг, що, як відомо, є більш раціональним, ніж використання елементів, які працюють на згинання.

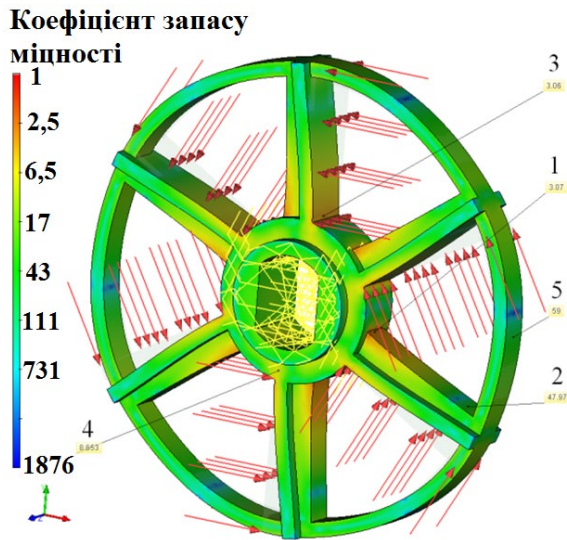


Рис. 21. Результати визначення коефіцієнта запасу міцності для 6-лезового ножа з вузькими лезами та силовим кільцем

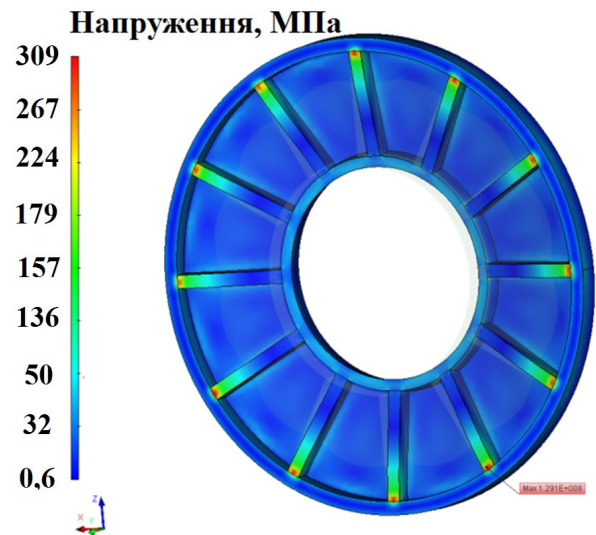


Рис. 22. Візуалізація напружено-деформованого стану решітки емульсатора *Karl Schnell FD-175* з радіальними ребрами жорсткості

На основі результатів натурних експериментів встановлено, що одним із суттєвих факторів зношування різальних крайків лез ножів та отворів решіток є осьова подача м'ясої сировини шнеком вовчка. Цей фактор обумовлює близько 40 % загальної величини зношування і затуплення різальних крайків ножів та решіток. Отримані результати розширюють уявлення про механізми зношування різальних крайків лез ножів та отворів решіток і створюють передумови для пошуку нових шляхів підвищення зносостійкості різального інструменту вовчків конструктивними методами.

Експериментальним шляхом встановлено закономірності зношування робочого циліндра вовчка, яке є суттєво неоднорідним як у коловому так і в осьовому напрямках (рис. 23). Однією з причин істотного зношування циліндра є тертя об шнек на початку та в кінці кожної робочої зміни при встановленні та знятті шнека. З метою покращення параметричної надійності вовчків необхідно розробити технічне рішення, яке б запобігало або, щонайменше, могло б суттєво мінімізувати цей вид зношування.

Дослідження зносостійкості лез ножів емульсаторів у виробничих умовах дало змогу встановити, що величина їх зношування збільшується квадратично зі збільшенням радіуса розташування точки вимірювання (рис. 24).

Рівняння регресії, яке описує залежність радіуса заокруглення різальних кромки решітки і ножа від радіуса розташування точки вимірювання, має наступний вигляд:

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2, \quad (10)$$

де a, b – коефіцієнти (для решітки $a=67,2$, $b=-0,9$, $c=0,01$; для ножа $a=89,82$, $b=-2,45$, $c=0,02$).

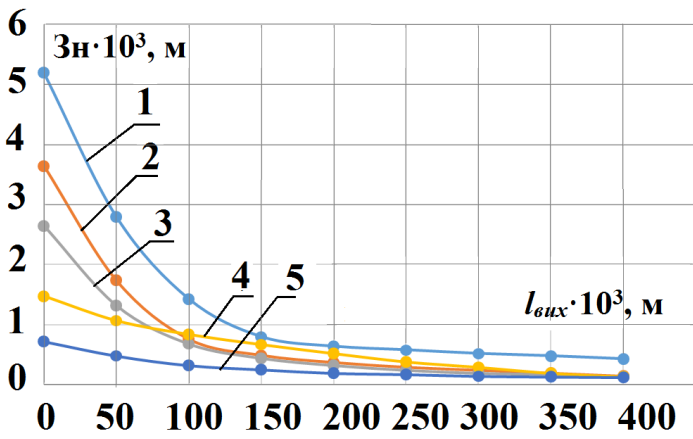


Рис. 23. Залежність зношування Z_n ребер циліндра вовчка МП-160 від відстані від вихідного отвору $l_{\text{вих}}$ при різних значеннях кута α : 1 – $\alpha = 0^\circ$; 2 – $\alpha = 45^\circ$; 3 – $\alpha = 90^\circ$; 4 – $\alpha = 135^\circ$; 5 – $\alpha = 180^\circ$

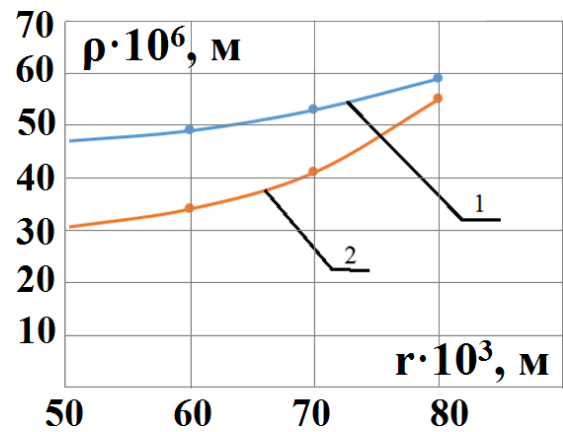


Рис. 24. Радіус закруглення ρ різальних крайків різального інструменту емульситатора залежно від радіуса розташування точки вимірювання r : 1 – решітки; 2 – лез ножа

Пояснюється це одночасним збільшенням як швидкості руху лез ножа, так і більшим їх шляхом тертя об решітку зі збільшенням радіуса точки вимірювання. Зважаючи на високу вартість решіток та лез ножів, доцільним є пошук шляхів підвищення їх зносостійкості технологічними методами.

У п'ятому розділі «Практична реалізація концепції вдосконалення кутерів, вовчків і емульситаторів», спираючись на отриманий масив наукової інформації та розроблені методологічні засади вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини, виконано детальний аналіз виявлених проблем неефективного узгодження гідравлічних процесів подачі і механічних процесів подрібнення та особливості їх впливу на напружено-деформований стан робочих органів у кутерах, вовчках і емульситаторах. Так, аналіз результатів досліджень адгезійної взаємодії ножа кутера № 1 із сировиною показав, що цей процес призводить до винесення сировини із зони подрібнення перед ножом № 2. Негативний наслідок – зменшення продуктивності. Окрім того, ніж № 1 відкидає сировину з великою швидкістю, через що вона виноситься із зони подрібнення без контакту з ножами № 2–6. Негативні наслідки: зменшення продуктивності, підвищений нагрів сировини через її гальмування об стінки та кришку чаші.

Враховуючи наведені результати аналізу, запропоновано низку нових запатентованих конструкцій машин для подрібнення м'ясної сировини, а також їх робочих органів, які дають змогу за рахунок усунення виявлених проблем підвищити питому продуктивність, енергоефективність і працездатність машин та якість обробленої сировини.

Конструкція ножа кутера (патент № 88060) зі зменшеною площею контакту із сировиною (рис. 25) дає можливість: зменшити інтенсивність нагріву сировини, залежно від глибини розглядуваного шару, на величину від 30 % до 70 %; істотно зменшити витрати енергії на тертя ножів об сировину, обумовлюючи зменшення

енергоспоживання приводом кутера; підвищити продуктивність кутера шляхом створення умов для подачі більшої кількості сировини під наступний ніж ножового блока. Будова ножа (рис. 26), який встановлюється в ножовій головці кутера з від'ємним кутом атаки (патент № 116156), дає змогу максимально ефективно знизити нагрів сировини та збільшити кількість сировини для подрібнення наступними ножами ножової головки кутера.

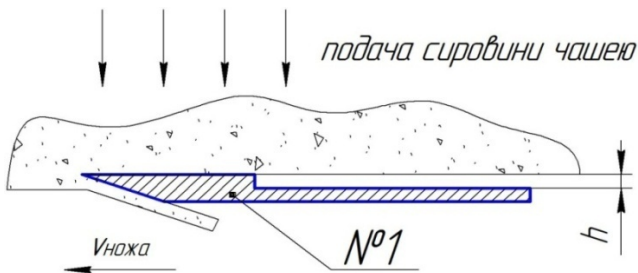


Рис. 25. Схема роботи ножа кутера із заглибленням h

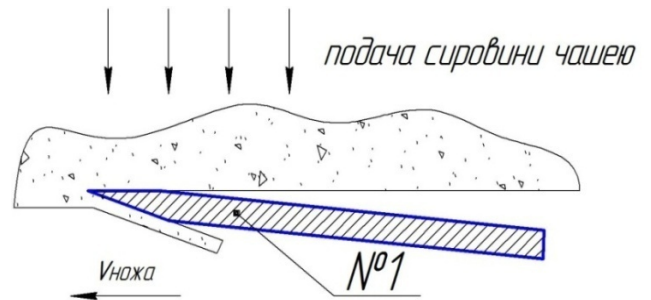


Рис. 26. Схема роботи ножа кутера із від'ємним кутом атаки

Реалізація змінного кута різання в ножах кутера дає можливість інтенсифікувати процес кутерування (рис. 27). Так, застосування ножа збірної конструкції (патент № 118301) дає змогу покращити якість варених ковбас, адже сполучна тканина м'яса подрібнюється лезом з малим значенням кута різання, а м'язова тканина м'яса подрібнюється подрібнювальним елементом з підвищеним кутом різання.

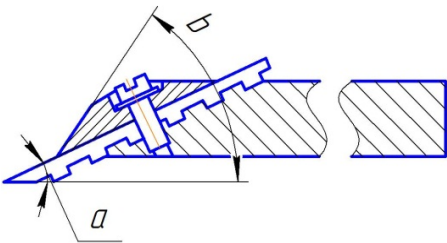


Рис. 27. Схема збірної конструкції ножа зі змінним кутом різання

Доцільно інтенсифікувати процес кутерування шляхом корисного використання кінетичної енергії сировини при її русі в зоні обробки. Для реалізації такого підходу розроблено пристрої статичного (патент № 120070) та динамічного (патент № 116037) типів (рис. 28, 29). В них сировина після подрібнення основними ножами ножової головки наштовхується на додаткові леза та подрібнюється без надлишкових витрат енергії та часу. Нова конструкція ножової головки (патент № 126397) дає змогу підвищити питому продуктивність кутера за рахунок гальмування сировини всередині ножової головки самими ножами ножових блоків (рис. 30).

Розроблено новий спосіб зміцнення ножів кутера, який поєднує термічну обробку та високочастотне проковування, здатний покращити втомну витривалість ножів кутера до 2,5 разу (патент № 116036).

Підвищення питомої продуктивності вовчка досягається за рахунок використання нової його конструкції, що має два ступеня подрібнення, один із яких має пристрій для подачі сировини у вигляді шестеренного насоса (патент № 88059).

Це дає змогу забезпечити одночасну подачу сировини по усій площі решіток різального вузла і, таким чином, збільшити продуктивність машини на величину до 84 %.

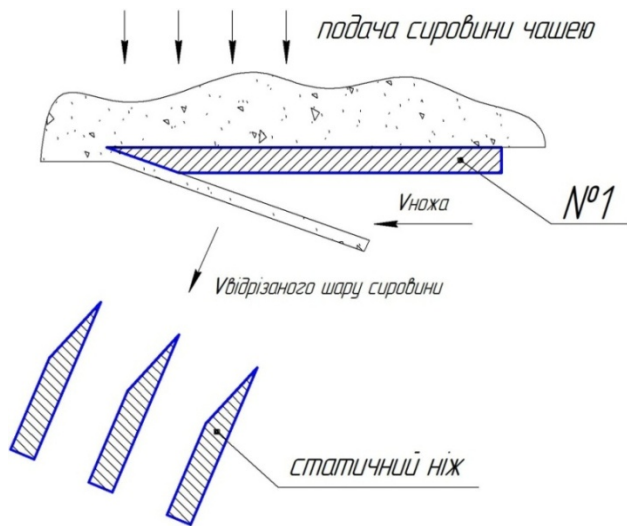


Рис. 28. Схема роботи пристрою статичного типу для інтенсифікації процесу кутерування за рахунок використання високої кінетичної енергії сировини

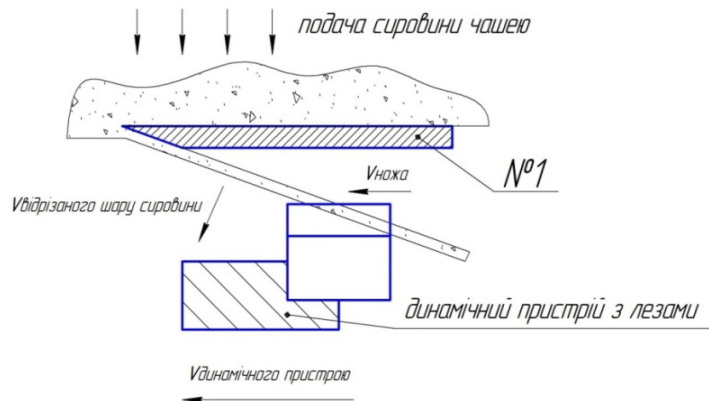


Рис. 29. Схема роботи пристрою динамічного типу для інтенсифікації процесу кутерування за рахунок використання високої кінетичної енергії сировини

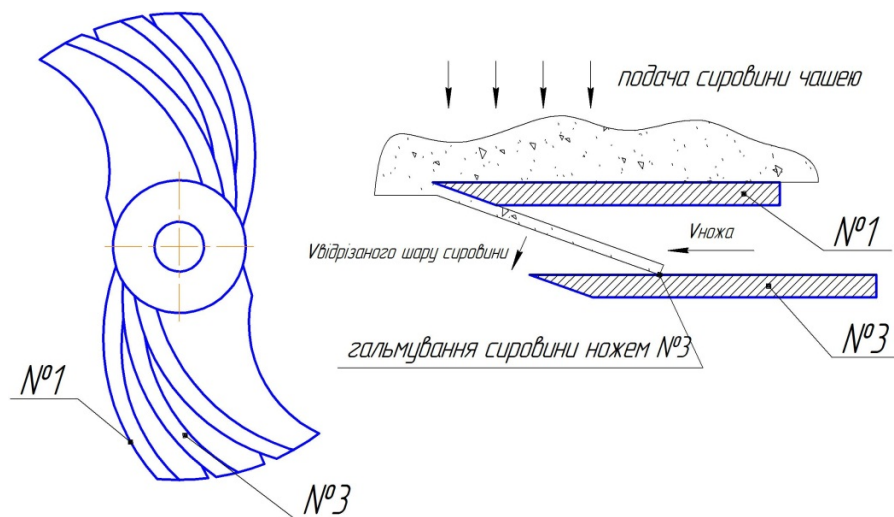


Рис. 30. Схема гальмування відрізаних шарів сировини в зоні подрібнення ножами ножової головки

Підвищення питомої продуктивності досягається і за рахунок використання три- і двозахідних шнеків спеціальної будови. Оцінювання якості обробки сировини на вовчках розробленої конструкції свідчить про повну відповідність фаршів, що були подрібнені на них, вимогам до фаршів, що виготовляються із використанням традиційного обладнання.

Встановлено, що при використанні двозахідного шнека продуктивність вовчка підвищується в 1,8 разу порівняно з однозахідним. Використання для подачі сировини ексцентриково-лопатевого насоса дає змогу підвищити продуктивність

вовчка в 1,8...2,2 разу, причому як для решіток з великими, так і з малими отворами, для яких застосування двозахідного шнека не дає задовільних результатів через збільшення гідравлічного опору різального вузла.

Решітка вовчка збірної конструкції (патент № 132446) зі змінними пластинами малої товщини b_{min} (рис. 31) дає можливість зменшити її гідравлічний опір P та покращити якість обробки сировини за рахунок зменшення її стискання при продавлюванні крізь решітку. Також ця конструкція решітки дає змогу зменшити витрати на придбання такого різального інструменту.

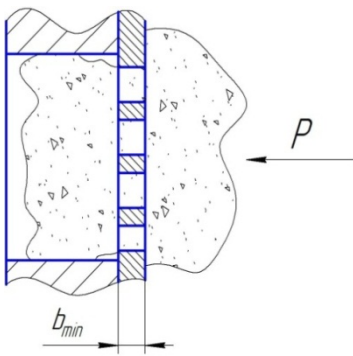


Рис. 31. Решітка вовчка збірної конструкції

Розроблено нову конструкцію бункера та різального механізму емульсатора, які забезпечують підвищення продуктивності в 1,4 разу порівняно з відомими конструкціями і дають можливість зменшити нагрів сировини при подрібненні до 40 % за рахунок зменшення кількості теплоти, яка передається одиниці маси сировини при її проходженні крізь різальний вузол (рис. 32).

Запропоновано новий шлях зменшення нагріву сировини (на 4°C) в емульсаторі – зменшення площі тертя ножів по перфорованих решітках.

Це досягається за рахунок використання кільцевих елементів жорсткості в решітках та лез ножів із відповідними пазами (патент № 114119). Застосування кулачкового фаршевого насоса для відведення сировини з емульсатора дає змогу зменшити нагрів сировини на етапі вивантаження (рис. 33).

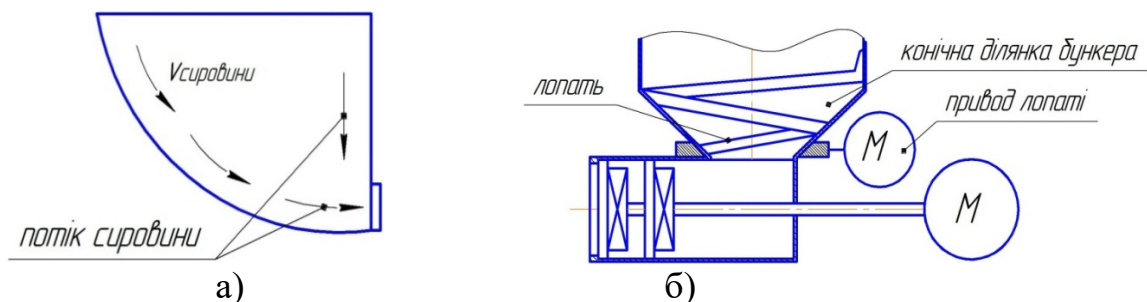


Рис. 32. Зміна конфігурації бункера емульсатора (а), введення нагнітаючої лопаті (б) для підвищення швидкості подачі сировини до різального вузла

Підвищено міцність ножів кутера конструктивними методами – запропоновано виконувати ніж перемінної товщини (патент № 71901). При цьому забезпечується (рис. 34) одночасне виконання двох суперечливих вимог – малий нагрів сировини за рахунок малої товщини леза h_1 у зоні контакту із сировиною та підвищена міцність ножа за рахунок збільшеної товщини h_2 тильної частини, яка не контактує із сировиною. Розроблено конструкцію ножа, яка має підвищену міцність та обумовлює менший нагрів фаршу.

Підвищено довговічність робочих органів вовчка шляхом нового їх конструктивного виконання. Розроблено конструкцію додаткового пристрою для захисного піддону та збірного циліндра з метою його використання у вовчках (рис. 35). Використання захисного піддону (патентна винахід № 122178) дає

можливість зменшити зношування шнека та робочого циліндра машини, що підвищує її параметричну надійність.

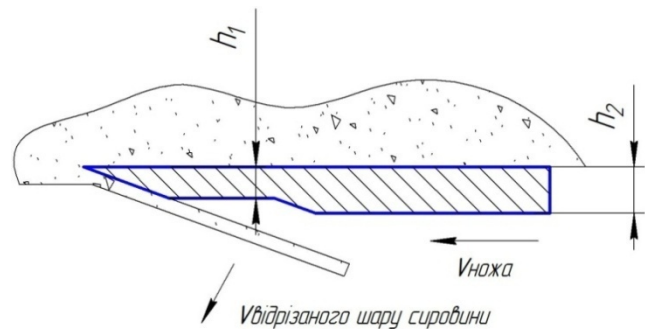
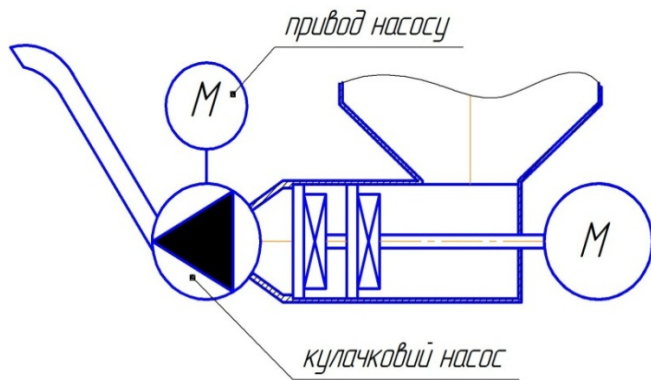


Рис. 33. Використання вивантажувального кулачкового насоса з індивідуальним приводом для зменшення нагріву сировини на етапі вивантаження

Рис. 34. Локальне підвищення товщини ножа кутера в найбільш навантаженій його частині

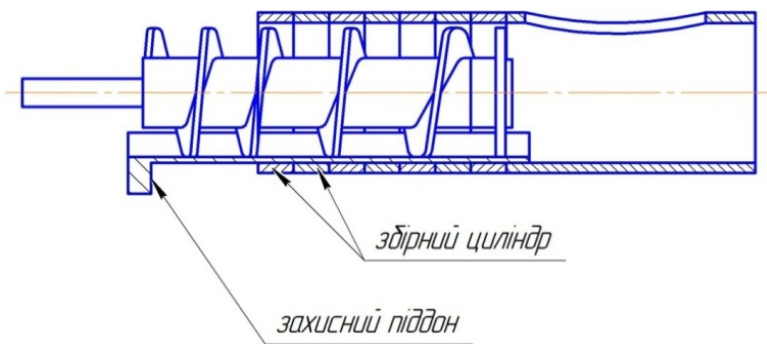


Рис. 35. Використання захисного піддону та збірника сировини

На основі використання результатів досліджень гідродинаміки сировини при її проходженні крізь різальний вузол вовчка розроблено нові конструкції ножів.

Запропоновано розміщувати леза лише в зонах (рис. 36) інтенсивного нагнітання сировини шнеком, чим значно зменшується металоємність ножів (патент № 83391). Розроблено новий шлях підвищення міцності лез – застосовувати опорне лезо підвищеної ширини для сприйняття навантаження від інших лез, які виконані зменшеної ширини задля забезпечення високої пропускної здатності різального вузла.

Розроблено нову конструкцію перфорованих решіток, яка має підвищені міцність та жорсткість. Використання в конструкції кільця жорсткості дає змогу зменшити максимальні напруження на 26 % і підвищити коефіцієнт запасу міцності з 1,3 до 1,6.

Застосування кільця жорсткості перемінної товщини дає можливість додатково підвищити коефіцієнт запасу міцності решітки на 10 % (з 1,6 до 1,8).

Запропоновано підвищувати зносостійкість різального інструменту вовчків і емульсаторів шляхом нанесення імпульсно-плазмовим методом зносостійкого металокерамічного покриття WC-Co 88/12. Використання цього покриття підвищило зносостійкість лез ножів вовчка в 2,6–3,2 разу, решіток – в 2,4–2,8 разу, лез ножів емульсатора – в 2,8–3,4 разу.

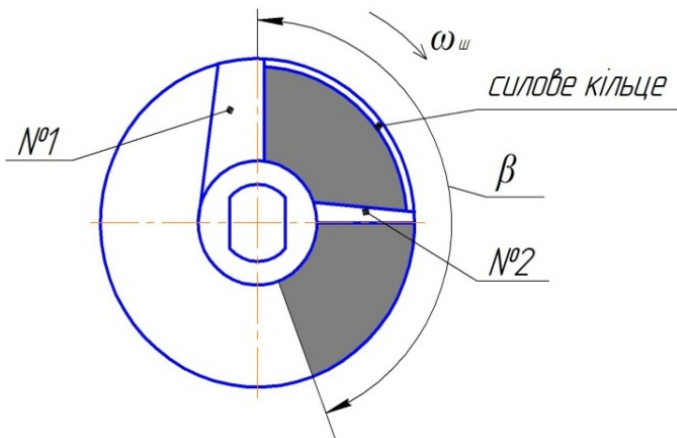


Рис. 36. Використання опорного леза №1 та розміщення лез ножа вовчка лише в межах сектора з кутом β

Результати проведеної серії чисельних експериментів та випробовування в промислових умовах підтвердили ефективність запропонованих технічних рішень.

Розроблені технічні рішення з вдосконалення кутерів забезпечують підвищення продуктивності в 2,8 разу, зменшення капітальних вкладень на 62 % та зменшення експлуатаційних

витрат на 75 %. Економічний ефект від використання вдосконалених вовчків обумовлений підвищенням питомої продуктивності машин в 1,8...2,2 разу та зменшенням витрат на купівлю різального інструменту. Розроблені технічні рішення з вдосконалення емульсатора забезпечують підвищення продуктивності в 1,4 разу, зменшення нагріву сировини на 4 °C та підвищення зносостійкості різального інструменту в 3,4 разу. Економічний ефект залежно від застосованих технічних рішень становить: для кутерів – 1 304 тис. грн., для вовчків – до 344 тис. грн., для емульсаторів – 220 тис. грн.

ВИСНОВКИ

Сукупність представлених у дисертаційній роботі результатів експериментальних і теоретичних досліджень, отриманих та обґрунтованих нових наукових положень і технічних рішень є новим вирішенням важливої науково-технічної проблеми створення науково-прикладних засад для проектування нових та модернізації наявних конструкцій вовчків кутерів та емульсаторів, які забезпечують підвищення загальної ефективності процесу подрібнення м'ясної сировини. Найбільш суттєві наукові результати і висновки дисертаційної роботи полягають у такому:

1. В результаті аналізу й узагальнення науково-технічної інформації з наявних конструкцій вовчків, кутерів і емульсаторів, їх технологічних параметрів та відомих методологічних підходів до вдосконалення цього типу машин запропоновано нову концептуальну гіпотезу вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини, яка ґрунтується на системному взаємоузгодженні гідравлічних процесів подачі м'ясної сировини та механічних процесів її подрібнення. Сутність гіпотези полягає в тому, що визначаються та взаємоузгоджуються параметри системи подачі та подрібнення, які забезпечують максимальну загальну

ефективність процесу, включаючи напружено-деформований стан, втомну витривалість і характеристики зношування робочих органів.

2. Створено методологію, підібрано прилади та розроблено обладнання для дослідження і моделювання процесів, які відбуваються при взаємодії робочих органів вовчків кутерів та емульситаторів із м'ясною сировиною під час її переробки.

3. Запропоновано використовувати науково-винахідницький біном, що являє собою системне взаємоінтегроване поєднання наукових досліджень та методологічних засобів аналізу і вирішення технічних протиріч, як методологічний базис для вирішення технічних задач зі складними протиріччями, який спирається на концептуальну гіпотезу вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини. Розроблено схеми алгоритмів вирішення цих задач як у прямій, так і зворотній їх постановці.

4. Теоретично встановлено й експериментально підтверджено закономірності гідродинаміки руху сировини в робочих зонах кутерів, вовчків та емульситаторів, особливості їх впливу на різні етапи процесів подрібнення. Встановлено нові системні зв'язки між параметрами гідравлічних процесів подачі та механічних процесів подрібнення і конструктивними та кінематичними характеристиками вузлів обладнання, структурно-механічними характеристиками сировини.

5. Чисельним моделюванням з'ясовано значення тисків, які діють на ножі кутера за різних умов їх роботи. Встановлено закономірності впливу кута загострення леза, швидкості різання та динамічної в'язкості сировини на тиск, який діє на поверхню леза ножа. За швидкості потоку 50 м/с зміна кута β від 2° до 14° призводить до зміни тиску на лезо від 0,05 МПа до 1,37 МПа залежно від в'язкості сировини. За швидкості потоку 200 м/с тиск на лезо змінюється відповідно від 0,69 МПа до 13,66 МПа. Отримані результати дають можливість врахувати вплив конструктивних і технологічних факторів процесу на силове навантаження на ніж і, відповідно, підвищити точність розрахунку ножів на міцність та межу втомної витривалості.

6. Шляхом математичного моделювання із використанням чисельних методів встановлено, що ножі кутера всіх досліджених типів при використанні їх у сучасних високошвидкісних машинах працюють в області частот коливань, наближених до резонансних. З'ясовано вплив конструктивних параметрів ножів на їх резонансні частоти. Отримано кількісні характеристики впливу вібраційних навантажень на напружено-деформований стан ножів. Для ножів найбільш поширених типів навіть при виконанні їх конструкції з максимальною питомою товщиною спостерігається підвищення коефіцієнта динамічності в межах $\beta=1,04-2,24$, що викликає пропорційне підвищення деформацій і напружень.

7. Встановлено закономірності впливу технологій зміцнення матеріалу та геометричних характеристик ножів кутерів на межу їх втомної витривалості. Технологія високочастотного механічного проковування дає змогу підвищити втомну витривалість сталі 65Г до 2,5 разу. Технологія імпульсно-плазмового зміцнення призводить до зменшення втомної витривалості в 3–3,5 разу. З'ясовано, що геометричні характеристики суттєвим чином впливають на втомну витривалість відомих конструкцій ножів кутерів при знакозмінних навантаженнях (Laska

універсальний – $2,2 \cdot 10^4$ циклів; Laska для сирокочених ковбас – $2,2 \cdot 10^4$ циклів; Seydelmann – $2,4 \cdot 10^4$ циклів; Alpina – $4,2 \cdot 10^5$ циклів; Kilia – $1 \cdot 10^6$ циклів і вище; Л5-ФКБ – $1 \cdot 10^6$ циклів і вище). За результатами досліджень запропоновано та обґрунтовано комплекс рекомендацій, для підвищення втомної витривалості ножів кутера при модернізації наявного та проектуванні нового обладнання.

8. На основі результатів натурних експериментів встановлено, що одним із суттєвих факторів зношування різальних крайків лез ножів та отворів решіток є осьова подача м'ясної сировини шнеком вовчка. Цей фактор обумовлює близько 40 % загальної величини зношування і затуплення різальних крайків ножів та решіток. Дослідження зносостійкості лез ножів та отворів решіток емульсаторів у виробничих умовах дало можливість встановити, що величина їх зношування збільшується квадратично зі збільшенням радіуса розташування точки вимірювання. Отримані результати розширюють уявлення про механізми зношування різальних крайків лез ножів і отворів решіток кутерів та емульсаторів і створюють передумови для пошуку нових шляхів підвищення зносостійкості різального інструменту цих типів машин конструктивними та технологічними методами.

9. Використовуючи отримані результати досліджень, запропоновано, обґрунтовано та реалізовано комплекс конструктивних (серія нових конструкцій ножів кутера, збірна конструкція решітки вовчка, нова конструкція ножів вовчка з лезами, розміщеними лише в зонах інтенсивного нагнітання сировини шнеком, нова конструкція різального механізму емульсатора, конструкція захисного піддону вовчків) і технологічних (спосіб зміцнення ножів кутера шляхом високочастотного проковування, нанесення імпульсно-плазмовим методом зносостійкого металокерамічного покриття WC-Co 88/12 на леза ножів та решітки емульсаторів) заходів, які забезпечили підвищення зносостійкості до 3,4 разу, механічної міцності до 34 % та втомної витривалості до 2,5 разу робочих органів вовчків, кутерів і емульсаторів.

10. Спираючись на аналіз отриманого масиву наукової інформації та розроблені методологічні засади вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини, набули подальшого розвитку положення про вплив основних конструктивних і кінематичних параметрів вовчків, кутерів і емульсаторів та структурно-механічних властивостей сировини на загальну ефективність процесів подрібнення. Обґрунтовано необхідність, рівні та способи взаємоузгодження конструктивних і кінематичних параметрів систем подачі та подрібнення, які забезпечують значне підвищення загальної ефективності процесів подрібнення у вовчках, кутерах та емульсаторах і, відповідно, визначають базові напрями вдосконалення і розвитку машин для подрібнення м'ясної сировини.

11. Дослідно-промислові випробовування розробленої з урахуванням результатів досліджень низки нових конструкцій вовчків, кутерів та емульсаторів, а також їх робочих органів підтвердили ефективність створених науково-прикладних засад подальшого вдосконалення і розвитку цього виду обладнання, показавши підвищення питомої продуктивності машин (до 2,8 разу), якості обробки сировини, енергоефективності процесів, працездатності машин та зниження вартості їх експлуатації. Окремі результати досліджень та методика проектувального розрахунку вовчків впроваджено у навчальний процес Черкаського державного

технологічного університету. Крім того, результати досліджень впроваджено у виробництво на м'ясопереробному підприємстві ТОВ «Черкаська продовольча компанія» (підтверджено відповідними актами). Економічний ефект залежно від застосованих технічних рішень становить: для кутерів – до 1 304 тис. грн., для вовчків – до 344 тис. грн., для емульсаторів – до 220 тис. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Некоз О. І., Батраченко О. В., Литовченко І. М. Дослідження умов контакту ножів кутера із сировиною з метою підвищення їх міцності // Вісник Черкаського державного технологічного університету: зб. наук. пр. / Черкаський державний технологічний університет. Черкаси: ЧДТУ, 2012. № 1. С. 108–114. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України.** *Внесок здобувача: висунення гіпотези про відповідні особливості гідродинаміки сировини, проведення чисельного моделювання руху потоку сировини навколо ножа кутера, вироблення ідеї про конструкцію ножа перемінної товщини, проведення чисельного моделювання напружено-деформованого стану ножів стандартної та розробленої конструкцій, висновки.*

2. Некоз О. І., Батраченко О. В., Філімонова Н. В., Філімонов С. О. Зменшення металоємності ножів м'ясорізальних вовчків // Вісник Черкаського державного технологічного університету: зб. наук. пр. / Черкаський державний технологічний університет. Черкаси: ЧДТУ, 2013. № 3. С. 154–161. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України.** *Внесок здобувача: проведення чисельного моделювання напружено-деформованого стану ножів найбільш поширених на практиці конструкцій, формулювання висновків та рекомендацій щодо конструктивного виконання ножів.*

3. Некоз О. І., Осипенко В. І., Батраченко О. В. Підвищення ефективності різальної дії ножів кутера // Вісник Черкаського державного технологічного університету: зб. наук. пр. / Черкаський державний технологічний університет. Черкаси: ЧДТУ, 2013. № 4. С. 120–126. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України.** *Внесок здобувача: розробка математичного апарату визначення товщини шару сировини, яка зрізується ножами кутера, що розташовані в першій по напрямку руху сировини площині різання, розробка нових конструкцій ножів та кількісне обґрунтування підвищеної ефективності їх роботи, висновки.*

4. Батраченко О. В. Моделювання умов силового навантаження ножів кутера // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія «Технічні науки» / Вінницький національний аграрний університет. Вінниця: ВНАУ, 2014. № 2. С. 136–141. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України.**

5. Батраченко О. В. Вплив конструктивних параметрів ножів кутера на частоти їх власних коливань // Вібрації в техніці та технологіях: зб. наук. пр. / Вінницький національний аграрний університет. Вінниця: ВНАУ, 2015. № 1. С. 122–

128. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України.**

6. Некоз О. І., Батраченко О. В., Мирошніченко К. А. Обґрунтування шляхів зменшення нагріву фаршу при його подрібненні в емульситаторі // Вісник Черкаського державного технологічного університету: зб. наук. пр. / Черкаський державний технологічний університет. Черкаси: ЧДТУ, 2015. № 2. С. 91–98. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України.** *Внесок здобувача: вироблення концепції зменшення нагріву фаршу за рахунок модифікації пари тертя «ніж–решітка», розробка нової будови різального вузла зі зменшеною площею тертя ножа об решітку, проведення чисельного моделювання напружено-деформованого стану решіток стандартної та розробленої конструкцій, математична обробка отриманих результатів, висновки.*

7. Некоз О. І., Батраченко О. В., Філімонова Н. В. Дослідження інтенсивності зношування лез ножа вовчка // Вісник Черкаського державного технологічного університету: зб. наук. пр. / Черкаський державний технологічний університет. Черкаси: ЧДТУ, 2013. № 2. С. 128–132. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України.** *Внесок здобувача: висунення гіпотези про нерівномірну подачу сировини в різальному вузлі вовчка і про диференційоване зношування окремих лез ножа, проведення натурних та лабораторних досліджень, аналіз отриманих результатів, формулювання висновків.*

8. Некоз О. І., Батраченко О. В., Філімонова Н. В. Гідравлічний опір різального вузла вовчків // Вісник Хмельницького національного університету: зб. наук. пр. / Хмельницький національний технічний університет. Хмельницький: ХНУ, 2015. № 3. С. 13–19. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Внесок здобувача: розробка конструкції пристрою для дослідження гідравлічного опору, проведення досліджень, математична обробка результатів досліджень, висновки.*

9. Осипенко В. І., Філімонова Н. В., Батраченко О. В. Теоретичне визначення коефіцієнта продуктивності вовчка // Вісник Хмельницького національного університету: зб. наук. пр. / Хмельницький національний технічний університет. Хмельницький: ХНУ, 2015. № 5. С. 101–106. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Внесок здобувача: розробка математичного апарату по визначенню коефіцієнта продуктивності вовчка, формулювання висновків.*

10. Мирошніченко К. А., Батраченко О. В. Витратні характеристики бункерів емульситаторів // Вісник Хмельницького національного університету: зб. наук. пр. / Хмельницький національний технічний університет. Хмельницький: ХНУ, 2016. № 5. С. 14–18. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Внесок здобувача: вироблення гіпотези про істотний вплив конфігурації бункера на продуктивність емульситатора і нагрів сировини в його різальному вузлі, проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих результатів, формулювання висновків.*

11. Батраченко О. В., Литовченко І. М. Дослідження гідродинаміки м'ясної сировини в бункері емульсатору з горизонтальним живлячим патрубком // Вісник Хмельницького національного університету: зб. наук. пр. / Хмельницький національний технічний університет. Хмельницький: ХНУ, 2017. № 2. С. 7–12. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Внесок здобувача: проведення чисельного моделювання гідродинаміки сировини в бункер того типу, який найчастіше використовується в емульсаторах, аналіз отриманих результатів, формулювання рекомендацій щодо конструктивних і геометричних параметрів бункерів, які б мали більшу пропускну здатність.*

12. Мирошніченко К. А., Батраченко О. В. Реологічні властивості основних видів м'ясного фаршу, що переробляються в емульсаторі // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. / Харків. держ. ун-т харчування та торгівлі. Харків: ХДУХТ, 2017. № 2. С. 206–218. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень та обробка їх результатів, формулювання висновків.*

13. Мирошніченко К. А., Батраченко О. В. Адгезійні властивості основних видів м'ясних фаршів, що найчастіше переробляються в емульсаторі // Вісник Черкаського державного технологічного університету: зб. наук. пр. / Черкаський державний технологічний університет. Черкаси: ЧДТУ, 2017. № 2. С. 99–104. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Внесок здобувача: висунення робочої гіпотези про істотний вплив матеріалу стінок бункера емульсатора на його пропускну здатність, проведення експериментальних досліджень та обробка їх результатів.*

14. Батраченко О. В. Пошук перспективних шляхів розвитку технічної системи на основі методики статистичних даних // Вісник Черкаського державного технологічного університету: зб. наук. пр. / Черкаський державний технологічний університет. Черкаси: ЧДТУ, 2017. № 3. С. 57–64. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.**

15. Осипенко В. І., Філімонова Н. В., Батраченко О. В. Чисельне моделювання подачі м'ясної сировини шнеком вовчка // Вісник Хмельницького національного університету: зб. наук. пр. / Хмельницький національний технічний університет. Хмельницький: ХНУ, 2017. № 3. С. 73–77. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Внесок здобувача: чисельне моделювання руху сировини в робочому циліндрі під дією шнека вовчка, аналіз отриманих результатів, формулювання висновків.*

16. Батраченко О. В. Методологічна концепція розвитку технічних систем харчової промисловості // Вісник Хмельницького національного університету: зб. наук. пр. / Хмельницький національний технічний університет. Хмельницький: ХНУ, 2017. № 4. С. 32–41. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку**

наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.

17. Некоз О. І., Батраченко О. В., Філімонова Н. В. Особливості гідродинаміки м'ясної сировини при її подачі шнеком вовчка // Вісник Хмельницького національного університету: зб. наук. пр. / Хмельницький національний технічний університет. Хмельницький: ХНУ, 2017. № 6. С. 37–42. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Внесок здобувача: висунення гіпотези про нерівномірний характер подачі сировини шнеком вовчка крізь його різальний вузол, проведення досліджень, аналіз отриманих результатів.*

18. Некоз О. І., Батраченко О. В., Філімонова Н. В. Перспективні шляхи підвищення питомої продуктивності вовчків // Вісник Хмельницького національного університету: зб. наук. пр. / Хмельницький національний технічний університет. Хмельницький: ХНУ, 2018. № 1. С. 251-255. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Внесок здобувача: висунення робочої ідеї про шлях підвищення питомої продуктивності вовчків, проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів.*

19. Батраченко О. В., Вербицький С. Б. Науково-винахідницький біном, як концептуальна основа технічного удосконалення конструкцій м'ясорізальних вовчків і кутерів // Продовольчі ресурси: зб. наук. праць / Інститут прод. ресурсів НААНУ. Київ: ІПР, 2018. № 1. С. 13–27. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України.** *Внесок здобувача: висунення робочої ідеї про доцільність використання поняття «науково-винахідницький біном», висвітлення прямої та зворотної задачі при використанні науково-винахідницького бінома.*

20. Чудов В. В., Батраченко О. В., Філімонова Н. В., Філімонов С. О. Моделювання взаємодії ножів кутера з м'ясною сировиною // Вісник Хмельницького національного університету: зб. наук. пр. / Хмельницький національний технічний університет. Хмельницький: ХНУ, 2018. № 6. С. 48–53. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Внесок здобувача: проведення математичного моделювання та аналіз отриманих результатів, вироблення рекомендацій щодо конструктивного виконання ножів кутера.*

21. Вербицький С. Б., Батраченко О. В., Філімонова Н. В. Удосконалення математичної моделі подрібнення м'ясної сировини на роторному емульситаторі // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. / Центральнoукр. нац. техн. ун-т. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. № 1. С. 25–35. **Стаття у науковому виданні, включеному до Переліку наукових фахових видань України і яке включено до міжнародних наукометричних баз.** *Внесок здобувача: розробка математичного виразу визначення потужності приводу емульситатора.*

22. Різальний механізм пристрою для подрібнення харчової сировини: пат. на винахід 114119 Україна: МПК В02С 18/36 / Некоз О. І., Батраченко О. В., Іванов П. В. та ін.; власник Батраченко О. В. № а201504547; заявл. 12.05.2015; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8/2017. *Внесок здобувача: вироблення концепції зменшення нагріву фаршу за рахунок модифікації пари тертя «ніж–решітка», розробка нової будови різального вузла зі зменшеною площею тертя ножа об решітку.*

23. Спосіб зміцнення ножа кутера: пат. на винахід 116036 Україна, МПК С21D7/08, В02С 18/20 / Батраченко О. В.; власник Батраченко О. В. № а201602692; заявл. 18.03.2016; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2/2018.

24. Ножова головка кутера: пат. на винахід 116037 Україна, МПКВ02С 18/06 / Батраченко О. В.; власник Батраченко О. В. № а201602700; заявл. 18.03.2016; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2/2018.

25. Ніж кутера: пат. на винахід 116156 Україна, МПКВ02С 18/20 / Батраченко О. В.; власник Батраченко О. В. № а201602693; заявл. 18.03.2016; опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3/2018.

26. Ніж кутера: пат. на винахід 118301 Україна, МПКВ02С 18/06 / Батраченко О. В., Філімонова Н. В.; власник Батраченко О. В. № а201702444; заявл. 16.03.2017; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 24/2018. *Внесок здобувача: розробка нової конструкції ножа кутера збірної будови, використання якого дає можливість підвищити ефективність подрібнення фаршів безструктурних ковбасних виробів.*

27. Ножова головка кутера: пат. на винахід 119785 Україна, МПК В02С 18/16 / Філімонова Н. В., Філімонов С. О., Батраченко О. В. ; власник Батраченко О. В. № а201702435; заявл. 16.03.2017; опубл. 12.08.2019, Бюл. № 15/2019. *Внесок здобувача: розробка нової конструкції ножової головки з покращеною подрібнювальною здатністю при кутеруванні безструктурних фаршів.*

28. Пристрій для підвищення подрібнювальної здатності кутера: пат. на винахід 120070 Україна, МПК В02С 18/18 / Батраченко О. В.; власник Батраченко О. В. № а201709864; заявл. 16.03.2017; опубл. 25.09.2019, Бюл. № 18/2019. *Внесок здобувача: розробка конструкції пристрою для підвищення подрібнювальної здатності кутера.*

29. Вовчок: пат. на винахід 122178 Україна, МПК В02С 18/16/Батраченко О. В., Батраченко В. Г., Філімонов С. О., Філімонова Н. В.; власник Батраченко О. В. № а201811629; заявл. 26.11.2018; опубл. 25.09.2020, Бюл. № 18/2020. *Внесок здобувача: постановка задачі, вироблення концепції захисного пристрою для шнекового механізму вовчка.*

30. Ніж вовчка: пат. на корисну модель № 83391 Україна, МПК В02С 18/30 / Некоз О. І., Батраченко О. В., Філімонова Н. В. та ін.; власник Батраченко О. В. № u201302186; заявл. 21.02.2013; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17/2013. *Внесок здобувача: розробка нової конструкції секторного ножа вовчка.*

31. Вовчок універсальний: пат. на корисну модель 88059 Україна, МПК В02С 18/30 / Некоз О. І., Осипенко В. І., Батраченко О. В., Філімонова Н. В., Хом'як А. В. та ін.; власник Батраченко О. В. № u201312240; заявл. 21.10.2013; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4/2014. *Внесок здобувача: розробка нової будови вовчка з підвищеною питомою продуктивністю.*

32. Ніж кутера: пат. на корисну модель 71901 Україна, МПК В02С 18/20 / Некоз О. І., Батраченко О. В., Литовченко І. М. та ін.; власник Батраченко О. В. № u201201630; заявл. 14.02.2012; опубл. 25.07.2012, Бюл. № 14/2012. *Внесок здобувача: розробка нової конструкції ножа перемінної товщини, який має підвищену міцність.*

33. Ніж кутера: пат. на корисну модель 88060 Україна, МПК В02С 18/20 / Некоз О. І., Батраченко О. В., Осипенко В. І. та ін.; власник Батраченко О. В. № u201312243; заявл. 21.10.2013; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4/2014. *Внесок здобувача: розробка нової конструкції ножа кутера з підвищеною подрібнювальною здатністю.*

34. Ніж кутера: пат. на корисну модель 88061 Україна, МПК В02С 18/20 / Некоз О. І., Батраченко О. В., Осипенко В. І. та ін.; власник Батраченко О. В. № u201312243; заявл. 21.10.2013; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4/2014. *Внесок здобувача: розробка нової конструкції ножа кутера з підвищеною подрібнювальною здатністю.*

35. Ножова головка кутера: пат. на корисну модель 126397 Україна, МПК В02С 18/18 / Батраченко О. В.; власник Батраченко О. В. № a201602704; заявл. 18.03.2016; опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12/2018.

36. Решітка пристрою для подрібнення харчової сировини: пат. на корисну модель 132446 Україна, МПК В02С 18/00 / Хандюк М. В., Філімонова Н. В., Філімонов С. О., Батраченко О. В.; власник Батраченко О. В. № u201809782; заявл. 01.10.2018; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4/2019. *Внесок здобувача: розробка нової конструкції решітки вовчка, використання якої дає можливість покращити якість обробки сировини за рахунок зменшення гідравлічного опору решітки.*

37. Некоз О. І., Батраченко О. В., Хом'як А. В. Зменшення собівартості ножів вовчка // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: тези доп. міжнар. наук. конф., 15-16 квіт. 2013 р. / НУХТ. Київ, 2013. С. 161–164. *Внесок здобувача: розробка та обґрунтування нової конструкції секторного ножа вовчка.*

38. Некоз О. І., Батраченко О. В. Вдосконалення різального інструменту м'ясорізальних машин // Актуальні проблеми харчової промисловості: тези доп. всеукр. наук.-техн. конф., 8-9 жовт. 2013 р. / ТНТУ. Тернопіль, 2013. С. 37–38. *Внесок здобувача: розробка нових конструкцій різального інструменту вовчків, кутерів і емульситаторів, їх систематизація.*

39. Батраченко О. В. Вібростійкість ножів сучасних моделей кутерів // Сучасні технології харчових виробництв: тези доп. I Міжнар. наук.-практ. конф., 26-27 берез. 2015 р. / ВНАУ. Вінниця, 2015. С. 9–11.

40. Батраченко О. В. Влияние вибрации ножей куттера на их напряженно-деформированное состояние // Вібрації в техніці та технологіях: тези доп. XIV міжнар. наук.-техн. конф., 21-25 верес. 2015 р. / ДНУ ім. Олесь Гончара. Дніпро, 2015. С. 12–13.

41. Батраченко О. В., Філімонова Н. В., Філімонов С. О. Підвищення ефективності переробки сировини у вовчках // Системи розробки та постановки продукції на виробництво: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., 17-20 трав. 2016 р. /

СумДУ, 2016. С. 177–180. *Внесок здобувача: вироблення робочих гіпотез, проведення експериментальних досліджень, розробка нових, більш досконалих конструкцій.*

42. Батраченко О. В., Мирошніченко К. А. Вдосконалення різального вузла емульсатора // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: тези доп. міжнар. наук. конф., 13-14 квіт. 2016 р. / НУХТ. Київ, 2016. С. 123. *Внесок здобувача: вироблення робочої гіпотези, проведення досліджень за допомогою чисельних методів, розробка нової, більш досконалої конструкції.*

43. Klyuk O., Batrachenko O. Constructive ways of increasing of durability of cutting machines' tool for grinding meat // 8th Central European Congress on Food 2016 – Food Science for Well-being: тези доп. 8-го Центрально-Європейського конгресу, May 23-26 / NUFT. Kyiv, Ukraine, 2016. P. 49. *Внесок здобувача: розробка конструктивних шляхів підвищення довговічності різального інструменту вовчків, кутерів і емульсаторів.*

44. Батраченко О. В. Вдосконалення різального інструменту кутерів на основі досліджень гідродинаміки сировини при кутеруванні // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., 18-19 трав. 2017 р. / ХДУХТ. Харків, 2017. С. 236–237.

45. Батраченко О. В. Перспективи розвитку м'ясорізальних машин на основі узгодження гідродинаміки сировини та процесів її подрібнення // Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: тези доп. II міжнар. наук.-практ. конф., 5-7 верес. 2017 р. / ТДАТУ ім. Д. Моторного. Мелітополь – Кирилівка, 2017. С. 127–128.

46. Некоз О. І., Батраченко О. В. Використання кінетичної енергії сировини для інтенсифікації процесу кутерування // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: тези доп. міжнар. наук. конф., 23-24 квіт. 2018 р. / НУХТ. Київ, 2018. С. 25. *Внесок здобувача: вироблення робочої гіпотези, розробка конструкції, проведення експериментальних досліджень.*

47. Некоз О. І., Батраченко О. В. Підвищення подрібнювальної здатності кутера при приготуванні фаршів безструктурних ковбасних виробів // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: тези доп. міжнар. наук. конф., 23-24 квіт. 2018 р. / НУХТ. Київ, 2018. С. 26. *Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень, розробка нової, більш досконалої конструкції.*

48. Некоз О. І., Батраченко О. В., Копчевський П. М. Поверхневе зміцнення, як спосіб підвищення втомної міцності ножів кутера // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., 19 листоп. 2018 р. / ХДУХТ. Харків, 2018. С. 340–342. *Внесок здобувача: висунення робочої гіпотези про перспективний спосіб зміцнення ножів кутера, підготовка дослідних зразків до експериментальних досліджень, аналіз результатів експериментальних досліджень, вироблення висновків.*

49. Філімонов С. О., Філімонова Н. В., Батраченко О. В. Методологічна концепція розвитку обладнання харчової промисловості // Розвиток харчових

виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., 19 листоп. 2018 р. / ХДУХТ, Харків, 2018. С. 369–371. *Внесок здобувача: розроблення методологічної концепції обладнання харчової промисловості, вироблення висновків.*

50. Філімонов С. О., Філімонова Н. В., Батраченко О. В. Науково-винахідницький біном – концептуальна основа прогресивних рішень з вдосконалення обладнання // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., 19 листоп. 2018 р. / ХДУХТ. Харків, 2018. С. 371–373. *Внесок здобувача: висунення робочої ідеї про доцільність використання поняття «науково-винахідницький біном», висвітлення прямої та зворотної задач при використанні науково-винахідницького бінома.*

51. Некоз О. І., Батраченко О. В. Підвищення втомної міцності ножів кутера// Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: тези доп. міжнар. наук. конф., 10-11 квіт. 2019 р. / НУХТ. Київ, 2019. С. 341. *Внесок здобувача: висунення робочої гіпотези про доцільність забезпечення невисокої твердості серцевини корпусу ножа та високої твердості його поверхні, проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів.*

52. Некоз О. І., Батраченко О. В. Науково-винахідницький біном, як основа методологічної концепції розвитку обладнання харчової промисловості// Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: тези доп. міжнар. наук. конф., 10-11 квіт. 2019 р. / НУХТ. Київ, 2019. С. 339. *Внесок здобувача: висунення робочої ідеї про доцільність використання поняття «науково-винахідницький біном», розробка структури прямої та зворотної задач при використанні науково-винахідницького бінома.*

53. Некоз О. І., Батраченко О. В. Підвищення втомної міцності ножів кутера шляхом їх поверхневого зміцнення // Перспективи розвитку машинобудування транспорту: тези доп. міжнар. наук. конф., 13-15 трав. 2019 р. / ВНТУ. Вінниця, 2019. С. 152–153. *Внесок здобувача: висунення робочої гіпотези, проведення експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів.*

54. Батраченко О. В., Філімонова Н. В. Структурно-механічні властивості м'яса, як об'єкта переробки у вовчку // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: тези доп. міжнар. наук. конф., 14-16 трав. 2019 р. / ЧНТУ. Чернігів, 2019. С. 47–49. *Внесок здобувача: постановка задачі досліджень, аналіз отриманих результатів та вироблення висновків.*

55. Некоз О. І., Батраченко О. В. Науково-прикладні основи розвитку машин для подрібнення м'ясної сировини// Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., 4-6 верес. 2019 р. / ТДАТУ ім. Д. Моторного. Мелітополь – Кирилівка, 2019. С. 57–59. *Внесок здобувача: висунення концепції про взаємозв'язок ефективності подрібнення сировини, довговічності різального інструменту та гідродинаміки сировини в машинах для подрібнення м'ясної сировини.*

56. Некоз О. І., Осипенко В. І., Батраченко О. В., Філімонова Н. В. Теорія і практика роботи конструктора машин і апаратів харчових виробництв: підручник. Черкаси: ЧДТУ, 2019. 680 с. *Внесок здобувача: методологічні засади розробки нових*

технічних рішень при розвитку машин і апаратів харчових виробництв, приклади застосування результатів наукових досліджень для вдосконалення машин і апаратів харчових виробництв.

57. Некоз О. І., Батраченко О. В. Проектування м'ясорізальних вовчків: навч. посіб. Черкаси: ЧДТУ, 2014. 221 с. *Внесок здобувача: розробка методики проектування вовчків, виконання огляду сучасних їх конструкцій, вироблення рекомендацій щодо конструктивного виконання вовчків.*

АНОТАЦІЯ

Батраченко О. В. Науково-прикладні основи вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Харківський державний університет харчування та торгівлі Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертація присвячена розробці науково-практичних основ вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини, а саме кутерів, вовчків і емульситаторів, на базі вироблення і використання концепції вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини, яка ґрунтується на взаємоузгодженні гідродинаміки сировини, процесу її подрібнення, напружено-деформованого стану та параметрів зношування робочих органів машин.

За результатами виконаного комплексу теоретичних та експериментальних досліджень отримано залежності і виявлено закономірності, що розвинули положення про вплив основних конструктивних і кінематичних параметрів кутерів, вовчків і емульситаторів на процес подрібнення м'ясної сировини. На основі наведеного розроблено нові конструкції вовчків, кутерів, емульситаторів і їх робочих органів з узгодженими характеристиками, які мають підвищену питому продуктивність, покращену енергоефективність і працездатність.

Результати роботи впроваджено на підприємстві ТОВ «Черкаська продовольча компанія».

Ключові слова: науково-прикладні основи, кутер, вовчок, емульситатор, науково-винахідницький біном, гідродинаміка, подрібнення, м'ясна сировина, продуктивність, працездатність.

АННОТАЦИЯ

Батраченко А. В. Научно-прикладные основы совершенствования машин для измельчения мясного сырья. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и аппараты пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Харьковский государственный университет питания и торговли Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2021.

Диссертация посвящена разработке научно-практических основ совершенствования машин для измельчения мясного сырья, а именно куттеров, волчков и эмульсаторов, на базе выработки и использования концепции совершенствования машин для измельчения мясного сырья, основанной на взаимосогласовании гидродинамики сырья, процесса его измельчения, напряженно-деформированного состояния и параметров износа рабочих органов машин.

По результатам выполненного комплекса теоретических и экспериментальных исследований получены зависимости и выявлены закономерности, которые развили положения о влиянии основных конструктивных и кинематических параметров куттеров, волчков и эмульсаторов на процесс измельчения мясного сырья. На основе приведенного разработаны новые конструкции волчков, куттеров, эмульсаторов и их рабочих органов с согласованными характеристиками, обладающие повышенной удельной производительностью, улучшенной энергоэффективностью и работоспособностью.

Результаты работы внедрены на предприятии ООО «Черкасская продовольственная компания».

Ключевые слова: научно-прикладные основы, куттер, волчок, эмульсатор, научно-изобретательский бином, гидродинамика, измельчение, мясное сырье, продуктивность, работоспособность.

ABSTRACT

Batrachenko O. V. Scientific and applied bases of improvement of machines for raw meat grinding.– Manuscript.

A dissertation for a scientific degree of Doctor of Engineering in speciality 05.18.12 – processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical industries. – Kharkiv State University of Food Technology and Trade of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the development of scientific and practical bases for improving machines for grinding of raw meat, namely bowl cutters, meat grinders and emulsifiers, based on the development and use of the concept of improving machines for raw meat grinding, which is based on the coordination of raw material hydrodynamics, grinding process, stress-strain state and wear parameters of the working bodies of machines.

According to the results of a complex of theoretical and experimental research, dependences were obtained and regularities were revealed that developed the position on the influence of the main structural and kinematic parameters of bowl cutters, meat grinders and emulsifiers on the process of raw meat grinding. The regularities of hydrodynamics of raw material movement in the working zones of bowl cutters, meat grinders and emulsifiers depending on the structural and kinematic parameters of the working bodies and working zones of these machines and the structural and mechanical properties of raw meat are established.

Based on the analysis of the obtained amount of scientific information and developed methodological principles of improvement of machines for raw meat grinding

acquired further development of the provision on the influence of basic structural and kinematic parameters of meat grinders, bowl cutters and emulsifiers and structural and mechanical properties of raw material on the overall efficiency of grinding processes. The necessity, levels and methods of mutual coordination of constructive and kinematic parameters of feed and grinding systems are substantiated, which provide a significant increase in the overall efficiency of grinding processes in meat grinders, bowl cutters and emulsifiers and, accordingly, determine the basic directions of improvement and development of meat grinding machines.

The dependence of the limit of fatigue strength (endurance) of the bowl cutter knives at alternating loads on the type of firming processing and on the features of the geometric shape of the knives is established.

By mathematical modelling using numerical methods, it is established that bowl cutter knives of all studied types, when used in modern high-speed machines, work in the range of oscillation frequencies close to resonant. The influence of the constructive parameters of knives on their resonant frequencies is found out. Quantitative characteristics of the influence of vibration loads on the stress-strain state of knives are obtained. For knives of the most common types, even when performing their construction with the maximum specific thickness, there is an increase in the coefficient of dynamism in the range $\beta = 1,04\text{--}2,24$, which causes a proportional increase of deformation and stress.

Using the obtained research results, a set of constructive (a series of new constructions of bowl cutter knives, a fabricated construction of the meat grinder plate, a new construction of the knives of the meat grinder with blades placed only in zones of intensive feed of raw material by the screw, a new design of the emulsifier cutting mechanism, a structure of a protective tray (pallet) of the meat grinders) and technological (method of strengthening of bowl cutter knives by high-frequency forging, application of wear-resistant metal-ceramic covering WC-Co 88/12 on the blades of the knives and the plates of the emulsifiers by pulsed plasma method) measures are offered, substantiated and implemented, that provided an increase of wear resistance up to 3,4 times, mechanical strength up to 34% and fatigue endurance up to 2,5 times of the working elements of meat grinders, bowl cutters and emulsifiers.

Based on the above, new designs of meat grinders, bowl cutters, emulsifiers and their working bodies with agreed characteristics have been developed, which have high specific productivity, improved energy efficiency and working capacity.

8 patents of Ukraine for inventions and 7 utility patents of Ukraine were obtained for the proposed new constructive solutions. Developed technical solutions of improvement of bowl cutters provide a 2,8 times higher increase in productivity, 62% decrease in capital investments and 75% reduction in operating costs. The productivity of meat grinders increases by 1,8-2,2 times, emulsifiers – 1,4 times. The durability of the cutting tool of the meat grinders increases by 1,9-3,2 times. The heating of the raw material in the emulsifier can be reduced by 4 °C, and the wear resistance of the cutting tool is increased by 3,4 times. New methods of calculating of the basic design and kinematic parameters of bowl cutters, meat grinders and emulsifiers, which allow taking into account their influence on the process of grinding of raw meat. The economic effect, depending on the applied technical solutions is: for bowl cutters UAH 1304 300, for meat grinders up to UAH 344 000, for emulsifiers UAH 220 000.

The results of the work were implemented at the Cherkassy Food Company LLC. The calculation of the economic effect from the use of the developed designs of bowl cutters, meat grinders and emulsifiers confirms the feasibility of their introduction into production.

Keywords: scientific and applied bases, a bowl cutter, a meat grinder, an emulsifier, scientific and inventive binomial, hydrodynamics, grinding, meat raw materials, productivity, efficiency.

Автор висловлює подяку доктору технічних наук, професору Некозу Олександрю Івановичу за ґрунтовні консультації та допомогу, надані під час роботи на дисертаційним дослідженням.

Підписано до друку 18.03.2021. Формат 60x90/16.
Ум. друк. арк. 2,65. Папір офсетний. Друк різнографічний.
Тираж 130 прим. Зам. №43/17

Редакційно-видавничий відділ
Черкаського державного технологічного університету
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006.
Віддруковано "Друкарня Everest"

