

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ КОЛАГЕН-ВМІСНОЇ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ

**Батраченко О. В.**

### **ВСТУП**

Зважаючи на воєнний стан, який триває, збереження і підтримка міцного здоров'я та імунітету військовослужбовців в екстремальних умовах під час бойових дій є одним з пріоритетних завдань військово-оборонного комплексу держави. Підготовка висококваліфікованих військовослужбовців, особливо офіцерів, які беруть участь в бойових діях, вимагає тривалого часу та занадто великих матеріальних витрат, щоб можна було ризикувати втратою їх працездатності через виникнення проблем з їх здоров'ям гострого чи хронічного характеру. Крім того, при виникненні проблем зі здоров'ям у військовослужбовців може бути поставлене під загрозу виконання ними бойових завдань, наслідки чого складно передбачити.

Високі фізичні і емоційні навантаження військовослужбовців при виконанні їх службових обов'язків висувають специфічні вимоги до раціону їх харчування. Особливо важливою задачею є запобігання отруєнню учасників бойових дій. Одним із шляхів вирішення такого завдання є виробництво та споживання якісних функціональних харчових продуктів.

Забезпечити деінтоксикацію організму, профілактику захворювань серцево-судинної системи, суглобів, а також підвищити рівень енергійності військовослужбовців та стимулювати у них розвиток м'язів можуть функціональні м'ясні продукти із вмістом колагену.

Білок колаген володіє низкою специфічним позитивних властивостей. Однак, починаючи приблизно з 35 років, вироблення колагену в організмі людини природним чином починає сповільнюватись, що може мати різні негативні наслідки для організму. У 40 років він починає витрачатися швидше, ніж організм може його відтворити, а у 60 років ситуація лише посилюється. Відтак, важливим є створення можливостей отримання військовослужбовцями функціональних м'ясних продуктів із вмістом колагену.

Одним із видів колаген-вмісної сировини є свинячі шкури. Відомо, що свиняча шкура становить 9–13 % м'яса на кістках. Відходи переробки свинячих шкір (обрізки шкір) практично не знаходять застосування для харчових цілей. В той же час є можливості

використання цієї некондиційної колаген-вмісної сировини для отримання продуктів, що володіють високими функціонально-технологічними властивостями.

Проте, існуючі технології переробки колаген-вмісної сировини володіють такими суттєвими недоліками, як високі енерговитрати та низька продуктивність процесу. З'єднувальна тканина сировини, яка і містить переважну кількість колагену, має міцність, що у 200 разів перевищує міцність м'язової тканини м'яса. Перед подрібненням сировина повинна пройти етап підготовки: або варіння на протязі 6–8 годин або вимочування в спеціальних кислотних розчинах протягом 18–24 годин при понижених температурах 0–4 °С. Це не дозволяє реалізувати виготовлення функціональних м'ясних продуктів в мобільних комплексах обладнання.

Відповідно до попередніх досліджень автора, саме використання ультразвукових коливань дозволить інтенсифікувати процес подрібнення сировини і таким чином суттєво зменшити енергоспоживання при виготовленні функціональних м'ясних продуктів за рахунок виключення етапу підготовки сировини, підвищити їх якість та забезпечити можливість виконання обладнання для подрібнення колаген-вмісної сировини компактним та високопродуктивним. Це дозволить спростити та значно здешевити виготовлення більшості видів м'ясних продуктів в промислових умовах, що визначає такі технології, як подвійного призначення. Створення можливості гарантованого отримання учасниками бойових дій функціональних колаген-вмісних продуктів завдяки розробці мобільного комплексу обладнання для подрібнення сировини є вельми актуальним та економічно вигідним.

Розробка і використання нової ресурсо- та енергозберігаючої технології переробки колаген-вмісної м'ясної сировини в харчовій промисловості України та світу дозволить заощадити значні матеріальні та енергетичні ресурси за рахунок виключення з технологічного ланцюжка етапу довготривалої та енергоємної підготовки сировини перед подрібненням.

При цьому створення принципово нових підходів до проектування ультразвукових коливальних систем на основі п'єзоактуаторів, а також до створення моделей, методів та засобів їх синтезу, зокрема для харчової промисловості нового покоління є актуальним для підвищення оборонної здатності нашої країни, та може представляти значний науковий та практичний інтерес для інших розвинутих країн світу.

Інтенсифікувати процес подрібнення колаген-вмісної м'ясної сировини можна і ще одним, додатковим, шляхом. Він полягає у більш повній реалізації подрібнювальної здатності ножової головки кутера. Проведений аналіз дозволив встановити, що в сучасних моделях кутерів недостатньою є питома продуктивність (продуктивність, яка віднесена до діаметру різального вузла машини), якість обробки сировини (рівень підвищення температури сировини при подрібненні, її вологовміст), зависокою є енергоємність роботи (кВт·год/кг).

Нами висунуто гіпотезу про те, що певні особливості гідродинаміки сировини в робочій зоні кутерів істотно знижують їх максимально досягнутому продуктивність та обумовлюють погіршену якість отримуваних напівфабрикатів. Дослідження та належне врахування цих явищ дасть змогу підвищити випуск м'ясної продукції без збільшення капітальних і експлуатаційних витрат на утримання технологічного обладнання та покращити якість обробки сировини.

В основу даної роботи покладено раніше розроблену автором концепцію вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини, яка ґрунтується на системному взаємоузгодженні процесів подачі м'ясної сировини та процесів її подрібнення. Сутність концепції полягає в тому, що визначаються та взаємоузгоджуються параметри системи подачі та подрібнення, які забезпечують максимальну загальну ефективність процесу.

Загалом, можна дійти висновку, що інтенсифікація процесу подрібнення колаген-вмісної м'ясної сировини шляхом використання ультразвукових коливань різального інструменту кутерів та шляхом взаємоузгодження параметрів системи подачі та подрібнення сировини в кутері є актуальною науково-практичною задачею, вирішення якої дозволить покращити рівень боєготовності українських військовослужбовців та заощадити значні матеріальні та енергетичні ресурси.

## **1. Аналіз сучасного рівня технологій переробки колаген-вмісної м'ясної сировини**

Відомо низку наукових праць, присвячених процесам переробки колаген-вмісної м'ясної сировини. В роботі встановлювалась доцільність та можливість екстрагування колагену з недублених відходів підприємства по виготовленню натуральних шкір<sup>1</sup>. Автори

---

<sup>1</sup> Майстренко Л. А., Юнгін О. С., Ластовецька Л. О. Екстрагування колагену з недублених відходів шкіряного виробництва. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2020. № 5. С. 269–273.

показали, що ультразвукове опромінення збільшило ступінь гідролізу та швидкість відновлення білка<sup>2</sup>. Ультразвук пригнічував утворення водневих зв'язків, зменшував зшивання між молекулами колагену, перетворював частину складеної структури у спіральну структуру та знижував термічну стабільність молекул колагену. Атомно-силова мікроскопія була використана для вивчення впливу ультразвукових коливань на ультраструктуру колагенових фібрил сухожил'я м'яса худоби<sup>3</sup>. Метою дослідження була оцінка впливу потужності ультразвуку та часу обробки на окислення та структуру білків яловичини. Отримані результати вказують на те, що ультразвукова обробка призводить до змін у структурі та окисленні білків яловичини, викликаних механічними наслідками кавітації та, як наслідок, утворенням вільних радикалів<sup>4</sup>. В роботі<sup>5</sup> вивчено вплив потужності ультразвуку на кінетичну модель екстракції та на фізико-хімічні і структурні характеристики колагену. Встановлено, що збільшення потужності ультразвуку викликає значне збільшення швидкості екстракції і рівноважної концентрації колагену. Однак, в даних роботах, як і в інших, питання інтенсифікації процесу подрібнення колаген-вмісної сировини за допомогою ультразвуку не досліджувалось.

В роботі наведено результати досліджень ефективності подрібнення м'ясної сировини при використанні ножової головки кутера вдосконаленої моделі<sup>6</sup>. Автори представили сучасні тенденції розвитку різального інструменту машин для подрібнення м'ясної

---

<sup>2</sup> Long He, Yongfang Gao, Xinyue Wang, Ling Han, Qunli Yu, Hongmei Shi, Rende Song. Ultrasonication promotes extraction of antioxidant peptides from oxhide gelatin by modifying collagen molecule structure. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021. Volume 78. P. 1–10.

<sup>3</sup> Guixia Li, Yunfei Wan, Xuan Song, Ying Wang, Linsen Zan, Jie Zhu. Effects of Various Processing Methods on the Ultrastructure of Tendon Collagen Fibrils from Qinchuan Beef Cattle Observed with Atomic Force Microscopy. *Journal of Food Quality*. Volume 2018. P. 123–131.

<sup>4</sup> Da-Cheng Kang, Yun-He Zou, Yu-Ping Cheng, Lu-Juan Xing, Guang-Hong Zhou, Wan-Gang Zhang. Effects of power ultrasound on oxidation and structure of beef proteins during curing processing. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016. № 33. P. 47–53.

<sup>5</sup> Ye Zou, Heng Yang, Xinxiao Zhang, Pingping Xu, Di Jiang, Muhan Zhang, Weimin u & Daoying Wang. Effect of ultrasound power on extraction kinetic model, and physicochemical and structural characteristics of collagen from chicken lung. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2020. Volume 2. P. 144–156.

<sup>6</sup> Wolfram Schnäckel, Ingo Micklisch. Neue Werkzeugtechnik zur Erhöhung der Verarbeitungseffektivität im Kutterprozess: 1. Mitteilung: Nachweis der Funktionsfähigkeit von schräg gestellten Kuttermessern. *Fleischwirtschaft*. 2018. № 3, S. 126–132.

сировини<sup>7</sup>. В даних роботах, як і в інших відомих наукових публікаціях та патентах на об'єкти інтелектуальної власності, не наведено опису конструкцій ультразвукового різального інструменту м'ясорізальних машин та дослідження ефективності його роботи.

Дослідженню, проектуванню і розробці високоефективних ультразвукових систем на основі п'єзокераміки присвячено низку робіт<sup>8</sup>. В них відмічено, що при проектуванні і розробці високо-ефективних ультразвукових систем для інтенсифікації біотехнологічних процесів використовуються п'єзоелектричні перетворювачі, які знайшли широке застосування в різних областях науки і техніки. Однак дослідження роботи п'єзоактуаторів для забезпечення<sup>9</sup> складного просторового руху різального інструменту не проводилось<sup>10</sup>.

Суттєвий інтерес мають результати дослідження ефективності роботи окремих ножів в ножовій головці<sup>11</sup>. Автори застосували в своїй роботі високошвидкісну зйомку процесу роботи ножової головки<sup>12</sup>. Незважаючи на вагомість отриманих результатів, їм властиві такі недоліки, як мала інформативність в означених публікаціях та неможливість пояснити результати експериментальних досліджень ефективності роботи ножів<sup>13</sup>. Згідно цих результатів ножі, які встановлені в першій площині різання обумовлюють близько 50 % продуктивності кутера, а ножі, що встановлені в інших двох

---

<sup>7</sup> Wolfram Schnäkel, Haack Eberhard. Der 3D-Druck eröffnet Möglichkeiten: Gedruckte Werkzeuge für die Fleischbearbeitung bringen technisch-technologische Vorteile. *Fleischwirtschaft*. 2019. Bd. 99/4. S. 136–139.

<sup>8</sup> Debabrata Panda and Sivakumar Manickam. Cavitation Technology–The Future of Greener Extraction Method: A Review on the Extraction of Natural Products and Process Intensification Mechanism and Perspectives. *Appl. Sci*. 2019. № 4. P. 1–21.

<sup>9</sup> Melodie Chen-Glasser, Panpan Li, Jeongjae Ryu and Seungbum Hong. Piezoelectric Materials for Medical Applications. In book: Piezoelectricity – Organic and Inorganic Materials and Applications. *Intech Open*. 2018. P. 125–145.

<sup>10</sup> Jinkai Xu, Ren Huanhuan. Design and finite element simulation of an ultrasonic transducer of two piezoelectric discs. *Journal of Measurements in Engineering*, 2017. Vol. 5, Pp. 266–272.

<sup>11</sup> Hammer G., Stoyanov S. Kuttern mit zwei Messern und Kutterleistung. Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel. *Jahresbericht*. 2007. Vol. 01. Pp. 24–26.

<sup>12</sup> Hammer, G. F. et al. Brühwurstbrät – Kuttern mit verschiedenen Messern. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*. 2005. Nr. 168, 57–64.

<sup>13</sup> Hammer G., Stoyanov S. Kuttermesser – unterschiedliche anschliff- und gleitwinkel. *Mitteilungsblatt fleischforschung Kulmbach*. 2010. Vol. 49. P. 183–195.

площинах різання, обумовлюють теж близько 50 % продуктивності кутера<sup>14</sup>.

Дослідженню підвищення температури при кутеруванні присвячено значну кількість праць. Дослідники застосували в своїй роботі тепловізійні пристрої на відміну від електричних контактних термометрів<sup>15</sup>. Це дозволило їм встановити розподіл температур як сировини, так і конструктивних елементів кутера (ножів, кришки чаші). Метою досліджень було виявлення основного чинника, який призводить до нагріву фаршу ножами. Однак автори зазначають, що ними не було встановлено чітку залежність впливу тертя ножів по сировині на ту ступінь її нагріву, яка спостерігається при кутеруванні. На нашу думку, ймовірною причиною такого результату є те, що дослідники не враховували в своїй роботі такий фактор нагріву фаршу, як інтенсивне його тертя та удар по стінкам чаші і кришки ножової головки після відкидання лезами ножів під час подрібнення. Належне дослідження означених проблемних задач залишається вельми актуальним.

В роботах наведені результати досліджень впливу форми леза ножів кутера та їх ширини на продуктивність процесу кутерування та на якість отриманого фаршу<sup>16</sup>. Встановлено, що збільшена ширина ножа призводить до підвищеного нагріву фаршу та до більш м'якої консистенції продукту, що є негативним фактором<sup>17</sup>. Дані результати слід брати до уваги при розробці нових конструкцій ножів з підвищеною ефективністю роботи.

Авторами запропоновано нову конфігурацію ножа машини для подрібнення м'яса та досліджено ефективність його використання<sup>18</sup>. Головна ідея конструкції полягає в узгодженні місць розташування лез із зонами основних потоків м'ясної сировини в даній машині. Однак, застосувати дані рішення саме для ножів кутера є не можливим.

---

<sup>14</sup> Hammer G., Stoyanov S. Über das Kuttern von Bruhwurstbrat. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*. 2008. Vol. 47. P. 243–251.

<sup>15</sup> Stoyanov S., Hammer G. Kuttern: Kräfte am Messer, Temperatur und Leistung. *Kulmbacher Woche – Kurzfassung Vortrag*. 2007. Vol. 4. P. 27–31.

<sup>16</sup> Ibid.

<sup>17</sup> Wolfram Schnackel, Ingo Micklisch, Janet Krickmeier, Dimitrinka Schnackel. Optimisation of cutter knives for the production of cooked sausages. *Food science, engineering and technologies* (Plovdiv, 24–25 October). Plovdiv, 2008. P. 77–83.

<sup>18</sup> Haack E., Schnackel W., Haack O. Messerverschein ist reduzierbar ablaufe in den einzelnen schneideebenen eines schneidsatzen eines fleischwolfes. *Fleischwirtschaft*. 2003. Vol. 7. P. 23–26.

В представлено результати досліджень використання нового типу пристрою для подачі м'ясної сировини до різального комплексу машини<sup>19</sup>. В розробленій конструкції пристрою удвічі збільшено кількість зон інтенсивної подачі м'ясної сировини, чим досягається підвищення її продуктивності без збільшення діаметру різального комплексу.

Авторами виконано дослідження ефективності подачі м'ясної сировини до різального комплексу м'ясорізальної машини за допомогою пристрою, основою якого є металева гільза зі спіральними отворами. Встановлено, що означений пристрій здатен ефективно подавати м'ясну сировину, не зважаючи на меншу вартість його виготовлення в порівнянні зі стандартними пристроями<sup>20</sup>. В роботах<sup>21</sup> досліджено параметри процесу<sup>22</sup> подачі сировини крізь елементи різального комплексу. Незважаючи на важливість та вагомість результатів наведених вище робіт, їх не можна вважати вичерпними та здатними підвищити продуктивність кутера, покращити якість обробки сировини в ньому, зменшити енерговитрат на процес кутерування та підвищити довговічності його різального комплексу.

В роботі наведено результати математичного моделювання напружено-деформованого стану ножів кутера, однак в ній не проводиться узгодження параметрів процесу подачі м'ясної сировини в кутері та параметрів напружено-деформованого стану ножів<sup>23</sup>. Також авторами не запропоновано шляхів підвищення статичної міцності ножів кутера.

Загалом, можна констатувати, що у відомих літературних джерелах не наведено результатів досліджень, які б розкривали ефективні шляхи інтенсифікації процесу подрібнення колаген-вмісної

---

<sup>19</sup> Haack E., Schnackel W., Krickmeier J. Wirkungsgrade deutlich verbessern. *Fleischwirtschaft*. 2012. Vol 6. P. 25–33.

<sup>20</sup> Haack E., Schnackel W., Stoyanov S. Wolftechnik – Der Rohstoff spielt eine Doppelrolle – Konstruktionsqualität und abgestimmte Messergeometrien ermöglichen neue Leistungsbereiche. *Fleischwirtschaft*. 2007. Vol. 1. P. 50–55.

<sup>21</sup> Haack E., Schnackel W. Kombinationsmöglichkeiten quasi unbegrenzt – Trennsysteme zur Aufwertung stofflicher Eigenschaften von Fleisch. *Fleischwirtschaft*. 2008. Vol. 3. P. 49–54.

<sup>22</sup> Haack E., Schnackel W. Vom Rohstoff zum Feinbrät – ein Arbeitsgang – Trennsysteme zur Aufwertung stofflicher Eigenschaften von Fleisch. *Fleischwirtschaft*. 2008. Vol. 4. P. 5–80.

<sup>23</sup> Kolev E., Stoyanov S. Verifikationsmethode zur Bestimmung der Belastung an Bauteilen durch Simulation und Experiment. *Internationales Wissenschaftliches Kolloquium*. 2002. Vol. 47. P. 23–26.

м'ясної сировини. Це вказує на необхідність проведення досліджень з означеної проблематики.

## **2. Інтенсифікація подрібнення колаген-вмісної м'ясної сировини шляхом використання ультразвукових коливань різального інструменту**

В даній роботі наводиться постановка задач досліджень та розроблена технологія переробки колаген-вмісної м'ясної сировини. Загалом же, метою досліджень є створення та розробка високо-ефективних багатокомпонентних ультразвукових коливальних систем для харчової промисловості, закладів громадського харчування та індивідуального використання, зокрема мобільного, енергоощадного ультразвукового комплексу для інтенсифікації процесу подрібнення м'ясної сировини при виготовленні функціональних м'ясних продуктів для учасників бойових дій, які спрямовані на деінтоксикацію їх організму, профілактику у них захворювань серцево-судинної системи, суглобів, кісток, а також підвищення рівня їх енергійності та стимулювання у них розвитку м'язів.

Об'єкт досліджень – це процеси, які відбуваються в ультразвукових інтенсифікаційних подрібнювальних системах та в сировинному середовищі.

Предмет досліджень – параметри роботи та конструктивне виконання мобільної ультразвукової системи для інтенсифікації процесу подрібнення при виготовленні колаген-вмісних м'ясних продуктів функціонального призначення.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1) створити теоретичні положення інтеграції та узгодження коливальних систем (компонентів) різної фізичної природи (електро-механічних, електричних, механічних) для інтенсифікації процесу подрібнення при виготовленні м'ясних продуктів функціонального призначення;

2) теоретично та експериментально обґрунтувати найбільш ефективні способи силового ультразвукового впливу на м'ясну сировину під час її подрібнення із застосуванням п'єзоелектричних актуаторів;

3) розвинути теоретичні положення методу додаткових елементів для оптимізації основних параметрів п'єзоелектричних елементів, зокрема підвищення рівня їх механічних коливань;

4) дослідити засобами атомно-силової мікроскопії ефективність подрібнення колаген-вмісної сировини та розроблені п'єзоелектричні



компоненти ультразвукових коливальних систем, що призначені для використання в кутерах, вовчках та емульсаторах;

5) запропонувати та науково обґрунтувати нову високопродуктивну, енерго- та ресурсоощадну технологію виготовлення колаген-вмісних функціональних м'ясних продуктів, придатну для використання як в мобільних, так і в промислових комплексах технологічного обладнання;

6) розробити конструкторську документацію на систему пристроїв для ультразвукового подрібнення м'ясної сировини, яка призначена для мобільних і промислових комплексів технологічного обладнання;

7) розробити експериментальний зразок (макет) мобільної ультразвукової системи для інтенсифікації процесу подрібнення м'ясної сировини, інструкцію по його використанню та дослідити ефективність його роботи.

Основна ідея даних досліджень полягає у використанні ультразвукових коливань складної просторової структури для суттєвої інтенсифікації процесу подрібнення колаген-вмісної м'ясної сировини при виготовленні функціональних м'ясних продуктів для учасників бойових дій задля створення можливості реалізації даного процесу в малогабаритних мобільних системах без використання довготривалої, енерговитратної та матеріаломісткої підготовки такої сировини.

Супутня ідея досліджень, яка взаємоінтегрована з основною, полягає в тому, що саме вживання функціональних м'ясних продуктів з обґрунтованим вмістом колагену дозволить забезпечити додаткову деінтоксикацію організму військовослужбовців, профілактику у них захворювань серцево-судинної системи, суглобів, кісток, а також підвищення рівня їх енергійності та стимулювання у них розвитку м'язів, що є вкрай важливим для учасників бойових дій.

Робочі гіпотези досліджень наступні.

1. Реалізація нового способу впливу на сировину при подрібненні, який передбачає складний просторовий узгоджений коливальний рух різального інструменту з ультразвуковою частотою почергово в напрямку сили різання та перпендикулярно до нього, забезпечить комплексний подрібнювальний вплив леза на м'ясу сировину. Завдяки цьому буде зменшено сили різання в 4–6 разів, інтенсифіковано подрібнення сполучної тканини сировини за рахунок збільшення кількості циклів зсувних деформацій та буде інтенсифіковано подрібнення і емульгування м'язової тканини за рахунок збільшення енергії диспергування білкових волокон.

2. Використання крутильних коливань різального інструменту в площині різання для інтенсифікації процесу подрібнення колаген-вмісної м'ясної сировини дасть можливість реалізувати прості конструктивні схеми приладів, що є особливо важливим для мобільних ультразвукових систем.

3. Використання системи приводу різального інструменту на основі п'єзактуаторів, яка буде містити щонайменше дві рухомі платформи, призначені для незалежного переміщення інструменту в двох взаємоперпендикулярних напрямках, дозволить забезпечити адаптивний режим подрібнення сировини зі змінними структурно-механічними властивостями з найбільш високою ефективністю процесу.

4. Запропонована технологія виготовлення функціональних м'ясних продуктів, яка базується на використанні ультразвукових коливань під час подрібнення, буде придатна для виготовлення м'ясних продуктів для перших і других страв, ковбасних виробів, м'яса тушкованого, а також для індивідуальних раціонів харчування (сухих пайків) військовослужбовців. Така технологія матиме подвійне призначення, тобто буде придатна і надасть цілком певні переваги для виготовлення м'ясних продуктів широкого вжитку для населення, чим буде забезпечено суттєвий економічний ефект для економіки України.

5. Запропоновані принципові схеми приладів для ультразвукового різання дадуть можливість розробити конструкції малогабаритного обладнання для подрібнення м'ясної сировини (для використання в закладах харчування військовослужбовців та в громадських закладах харчування) та промислового обладнання (для використання на харчових підприємствах)

Нова технологія переробки колаген-вмісної м'ясної сировини розроблялась з урахуванням напрямів критичних технологій, затвердженими розпорядженням кабінету Міністрів України від 30 серпня 2017 р. № 600 «Деякі питання розвитку критичних технологій у сфері виробництва озброєння та військової техніки», а саме «Технології захисту організму людини від впливу отруйних, небезпечних хімічних речовин, інфекційних захворювань та радіації». Виконання поставлених задач передбачає отримання прикладних результатів подвійного використання, які будуть конкурентоспроможні на світовому ринку. При цьому використання комбінованих узгоджених ультразвукових коливань швидкообертового різального інструменту м'ясорізальних машин для інтенсифікації процесів переробки сировини в них є оригінальним новим напрямком у галузях приладобудування, харчової технології та харчового машинобудування.

Основною особливістю досліджень за даною проблематикою є її комплексний характер. Внаслідок чого необхідним є ефективне комплексне виконання поставлених різнопланових взаємоінтегрованих задач, а саме: дослідження та розробки ефективних ультразвукових коливальних систем; інтеграції цих систем в машини для подрібнення м'ясної сировини; обґрунтування і розробки нової технології виготовлення м'ясних продуктів функціонального призначення.

План досліджень передбачає послідовну реалізацію низки взаємоузгоджених теоретичних та експериментальних етапів, під час яких спочатку буде обґрунтовано вид ультразвукових коливань для інтенсифікації процесу подрібнення та параметри системи п'єзоактуаторів для їх здійснення, потім буде обґрунтовано нове конструктивне виконання та параметри роботи подрібнювальних мобільних комплексів і наприкінці передбачається ґрунтовна розробка нової технології виготовлення функціональних м'ясних продуктів, яка базуватиметься на використанні результатів попередніх етапів дослідження.

Нами пропонується новий спосіб виготовлення колаген-вмісних функціональних м'ясних продуктів, який передбачає підготовку м'ясної та колаген-вмісної сировини, попереднє подрібнення сировини різальним інструментом на відповідному обладнанні, технологічне витримування колаген-вмісної сировини в кислотних розчинах та/або теплової її обробку, кінцеве подрібнення м'ясної та колаген-вмісної сировини різальним інструментом на відповідному обладнанні, складання фаршу, фасування та кінцеву теплову обробку фаршу. Відмінністю даного способу від інших є те, що подрібнення сировини здійснюється з накладанням ультразвукових коливань на різальний інструмент м'ясорізальної машини (вовчка, кутера, емульсатора).

За даним способом спочатку здійснюється підготовка м'ясної та колаген-вмісної сировини (очищення, миття тощо). Потім проводиться її попереднє подрібнення різальним інструментом на відповідному обладнанні (на кутерах або вовчках). Далі слідує етап технологічного витримування колаген-вмісної сировини в кислотному розчині або ж здійснюється теплової її обробка. Потім проводиться кінцеве подрібнення м'ясної та колаген-вмісної сировини різальним інструментом на відповідному обладнанні (на кутерах або емульсаторах). Після цього відбувається складання (змішування) фаршу в необхідних пропорціях, фасування його в оболонку (для ковбасних виробів), в жорстку або м'яку герметичну тару, а також

проводиться кінцева тепла обробка фаршу, що дозволяє отримати ковбасні або консервовані колаген-вмісні функціональні м'ясні продукти.

Відповідно до результатів попередніх досліджень, саме використання ультразвукових коливань дозволяє інтенсифікувати процес подрібнення сировини і таким чином суттєво зменшити енергоспоживання при виготовленні функціональних м'ясних продуктів за рахунок виключення або ж значного скорочення етапів вимочування сировини в кислотних розчинах або її варіння, підвищити якість продуктів та забезпечити можливість виконання обладнання для подрібнення колаген-вмісної сировини компактним та високопродуктивним.

Розвитком описаного вище способу подрібнення колаген-вмісної м'ясної сировини є наступні рішення:

- ультразвукові коливання різального інструменту здійснюються по чергово по напрямку сили різання та перпендикулярно до нього (забезпечується комплексний подрібнювальний вплив леза на м'ясну сировину, інтенсифікується подрібнення сполучної тканини сировини за рахунок збільшення кількості циклів зсувних деформацій та інтенсифікується подрібнення і емульгування м'язової тканини за рахунок збільшення енергії диспергування білкових волокон);

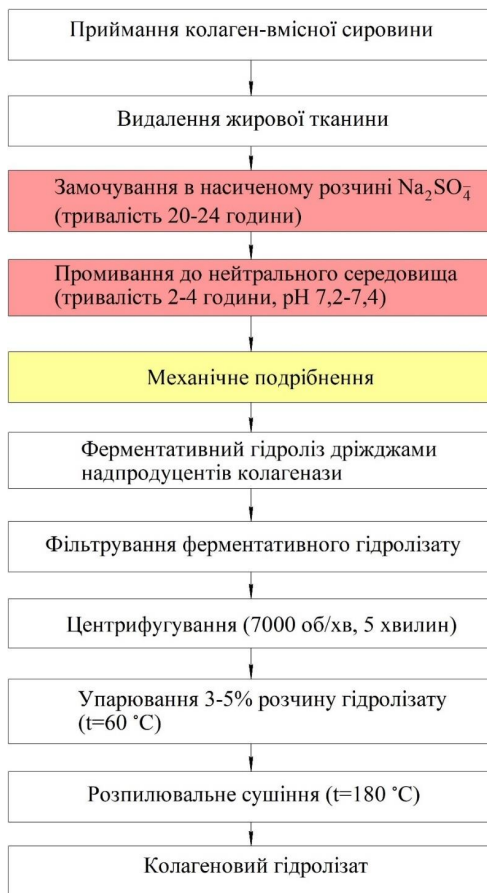
- ультразвукові коливання різального інструменту мають крутильний характер в площині обертання різального інструменту (досягається спрощення вимог до конструкції пристрою для подрібнення);

- напрямом коливань різального інструменту може змінюватись залежно від виду та гатунку м'ясної сировини, при високому вмісті сполучної тканини в м'ясній сировині коливання різального інструменту здійснюються перпендикулярно до напрямку сили різання, при малому вмісті сполучної тканини в м'ясній сировині коливання різального інструменту здійснюються по напрямку сили різання (забезпечуються оптимальні умови подрібнення сировини при значних коливаннях її структурно-механічних характеристик).

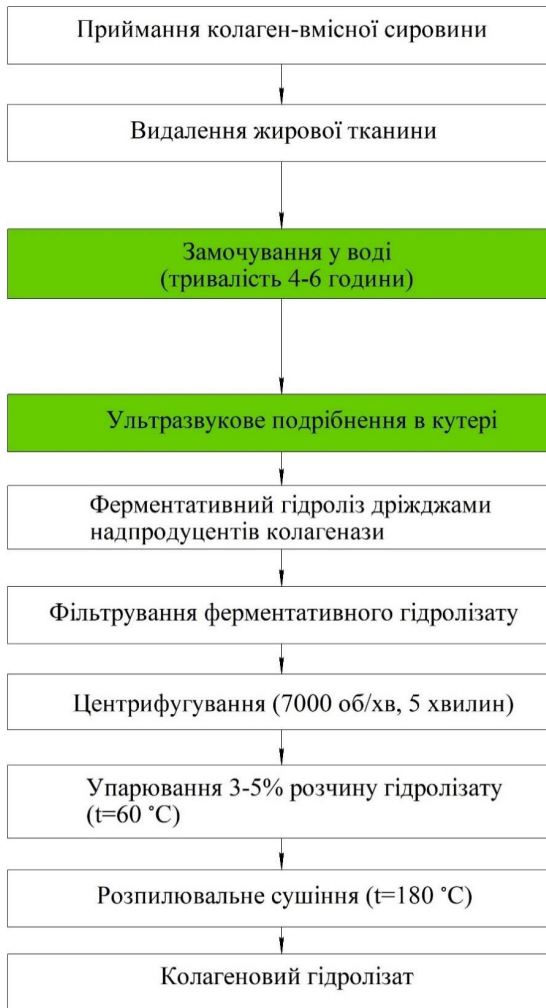
На основі наведених вище способів подрібнення сировини було вдосконалено технологію отримання колагенового гідролізату (рис. 1, 2).

За класичною технологією спочатку проводиться приймання колаген-вмісної сировини, потім – видалення її жирової тканини. Потім проводиться здійснюється замочування сировини в насиченому розчині  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (тривалість 20–24 години). Після цього йде промивання до нейтрального середовища (тривалість 2–4 години,

pH 7,2–7,4 та механічне подрібнення (наприклад, на кутері). Далі проводиться ферментативний гідроліз дріжджами надпродуцентів колагенази і фільтрування ферментативного гідролізату. Кінцевими етапами є центрифугування гідролізату (7000 об/хв, 5 хвилин), упарювання 3–5 % розчину ( $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) та його розпилювальне сушіння ( $t = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Після цього проводиться пакування колагенового гідролізату.



**Рис. 1. Класична технологія виготовлення колагенового гідролізату (червоним кольором виділені етапи, які будуть вилученні при вдосконаленні технології, жовтим – етап, який буде змінено)**



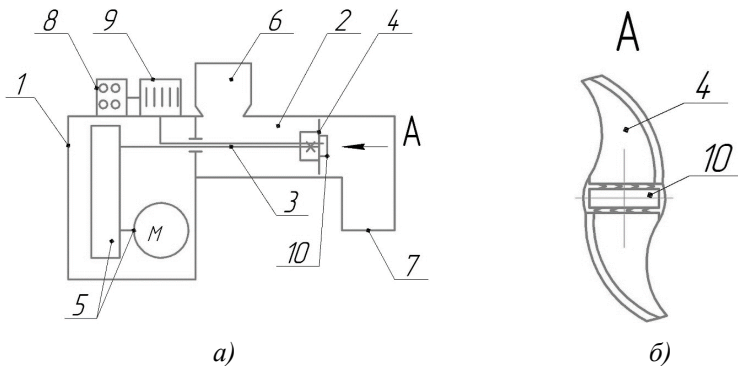
**Рис. 2. Вдосконалена технологія виготовлення колагенового гідролізату (зеленим кольором виділені етапи, які були введені при вдосконаленні технології)**

Вдосконалена технологія теж передбачає приймання колаген-вмісної сировини та видалення її жирової тканини. Далі здійснюється замочування її сировини у воді (тривалість 4–6 годин). І після цього проводиться ультразвукове подрібнення сировини (наприклад, на кутері, ножі якого виконують коливання з ультразвуковою частотою).

Далі проводиться ферментативний гідроліз дріжджами надпродуктів колагенази і наступні етапи технологічної обробки, які відповідають класичній технології.

Для реалізації розроблених способів подрібнення колаген-вмісної м'ясної сировини було розроблено дві конструкції обладнання для її ультразвукового різання (рис. 3, 4).

Пристрій для подрібнення м'ясної сировини складається (рис. 3.) з корпусу 1 та робочої камери 2, в якій відбувається подрібнення сировини. В корпусі 1 змонтовано ножовий вал 3, який проходить в робочу камеру 2 і на якому встановлено ножі 4. Ножовий вал 3 приводиться в обертання приводом 5 ножового валу. На вході робочу камеру 2 розташовано пристрій для завантаження сировини 6, а на виході з робочої камери 2 – пристрій для вивантаження сировини 7. Також наявна система керування 8, яка може бути розміщена в корпусі 1 або поруч із ним.



**Рис. 3. Пристрій для подрібнення м'ясної сировини:**  
**а – повздовжній переріз пристрою; б – загальний вид ножів та п'єзоактуатору**

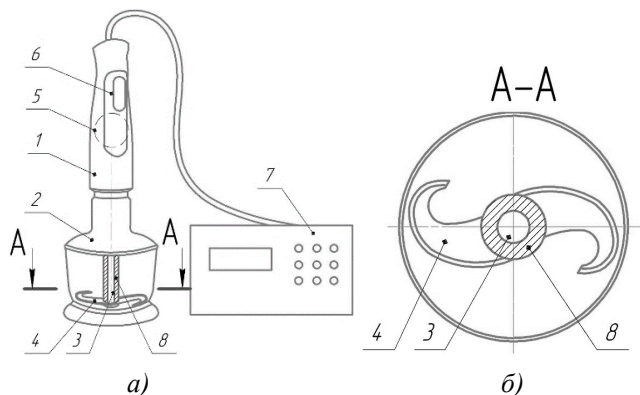
Пристрій для подрібнення м'ясної сировини має генератор ультразвукових коливань 9, який розташовано в корпусі 1 та щонайменше один п'єзоактуатор 10, який встановлено на ножовому валу 3 та з'єднано з щонайменше одним ножом 4. При цьому ножі 4 виконано рухомими з можливістю виконання коливань в площині різання. П'єзоактуатор 10, генератор ультразвукових коливань 9 та система керування 8 знаходяться в спільній електричній мережі.

Пристрій для подрібнення м'ясної сировини працює наступним чином. Сировина пристроєм 6 для завантаження сировини подається в

робочу камеру 2, в якій при увімкненому приводі 5 вона подрібнюється ножами 4. Після подрібнення сировина виводиться з робочої камери 2 пристроєм для вивантаження сировини 7. Система керування забезпечує роботу приводу 5, генератора ультразвукових коливань 9 та п'єзоактуатора 10. Генератор ультразвукових коливань 9 генерує електричні імпульси з ультразвуковою частотою, які надходять в п'єзоактуатор 10. За рахунок зворотного п'єзо ефекту п'єзоактуатор 10 виконує механічні коливання з ультразвуковою частотою, приводячи у рух ножі 4, які починають коливатись в площині різання.

При цьому зменшується коефіцієнт тертя ножів по сировині, інтенсифікуються зсувні деформації м'ясної сировини, виникає локальний її нагрів та низка інших ефектів, які суттєво полегшують процес подрібнення. В результаті стає можливим ефективне подрібнення м'ясної сировини з високим вмістом сполучної тканини без застосування додаткових методів її обробки, чим забезпечується високий економічний ефект від впровадження запропонованого рішення за винаходом.

Малогабаритний пристрій для подрібнення м'ясної сировини складається (рис. 4) з корпусу 1 та робочої камери 2, в якій відбувається подрібнення сировини. В корпусі 1 змонтовано ножовий вал 3, який проходить в робочу камеру 2 і на якому встановлено ножі 4. Ножовий вал 3 приводиться в обертання приводом 5 ножового валу. Також наявна система керування 6, яка може бути розміщена в корпусі 1 або поруч із ним.



**Рис. 4. Малогабаритний пристрій для подрібнення м'ясної сировини:**

**а – загальний вид пристрою; б – поперечний переріз пристрою**



Малогабаритний пристрій для подрібнення м'ясної сировини має генератор ультразвукових коливань 7 та щонайменше один п'єзоактуатор 8, який встановлено на ножовому валу 3 та з'єднано з щонайменше одним ножом 4. При цьому ножі 4 виконано рухомими з можливістю виконання коливань в площині різання. П'єзоактуатор 8, генератор ультразвукових коливань 7 та система керування 6 знаходяться в спільній електричній мережі. П'єзоактуатор 8 виконано у вигляді трубки, яка з'єднана з ножами 4 і крізь яку проходить ножовий вал 3.

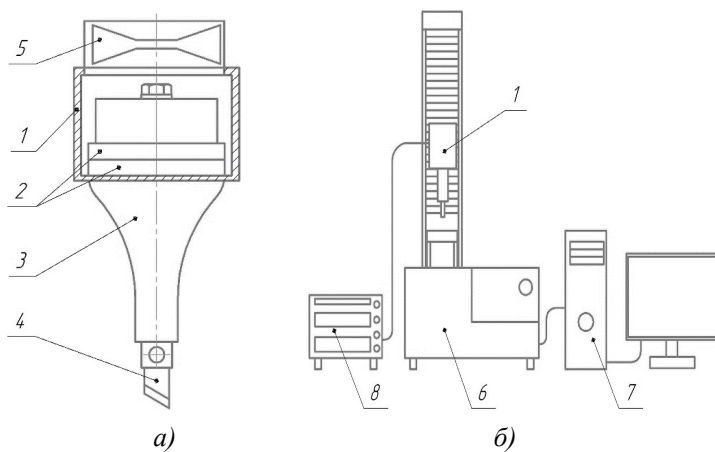
Малогабаритний пристрій для подрібнення м'ясної сировини працює наступним чином. Сировина завантажується в робочу камеру 2, в якій при увімкненому приводі 5 вона подрібнюється ножами 4. Після подрібнення сировина вивантажується з робочої камери 2. Система керування забезпечує роботу приводу 5, генератора ультразвукових коливань 7 та п'єзоактуатора 8. Генератор ультразвукових коливань 7 генерує електричні імпульси з ультразвуковою частотою, які надходять в п'єзоактуатор 8. За рахунок зворотного п'єзоефекту п'єзоактуатор 8 виконує механічні крутильні коливання навколо вертикальної вісі з ультразвуковою частотою, приводячи у рух ножі 4, які починають коливатись в площині різання.

За рахунок цього інтенсифікується подрібнення сполучної тканини м'ясної сировини, чим скорочується час процесу подрібнення та зменшують енерговитрати на нього, також підвищується якість отриманого продукту.

Означене виконання малогабаритного пристрою для подрібнення м'ясної сировини забезпечує спрощення конструкції пристрою, оскільки п'єзоактуатор 8 розташований коаксіально з ножовим валом 3, який проходить крізь нього. Значна висота п'єзоактуатора 8 сприяє отриманню підвищеної потужності та амплітуди коливань ножів 4.

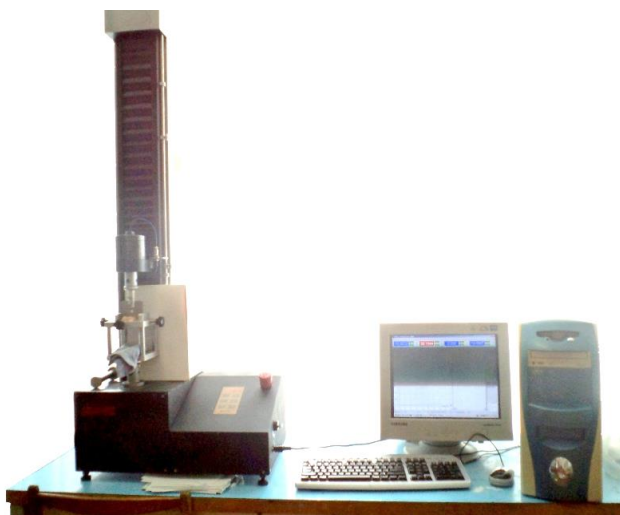
Для проведення експериментальних досліджень процесу ультразвукового різання колаген-вмісної м'ясної сировини було розроблено відповідний лабораторний пристрій (рис. 5).

Він складається з корпусу 1, всередині якого розташовано дві кільцеві п'єзокерамічні пластини 2, до яких прикріплено резонатор 3. На кінці резонатору закріплюється лезо 4. П'єзоелементи охолоджуються вентилятором 5. При роботі пристрою п'єзокерамічні пластини 2 деформуються з ультразвуковою частотою (від 24 до 50 кГц), внаслідок чого лезо 4 виконує зворотно-поступальний рух.



**Рис. 5. Устрій установки для експериментального дослідження параметрів процесу ультразвукового різання колаген-вмісної м'ясної сировини:**

**а – лабораторний пристрій для ультразвукового різання м'ясної сировини; б – основні елементи установки**



**Рис. 6. Загальний вид установки для експериментального дослідження параметрів процесу ультразвукового різання колаген-вмісної м'ясної сировини**

Даний пристрій призначений для використання у складі експериментальної установки для експериментального дослідження параметрів процесу ультразвукового різання колаген-вмісної м'ясної сировини (рис. 6). Основою установки є універсально-випробувальна машина SANS CMT2503, яка містить механічну частину 6 та блок обробки результатів досліджень 7 (персональний комп'ютер). В захваті випробувальної машини SANS CMT2503 встановлюється лабораторний пристрій для ультразвукового різання м'ясної сировини. Подача електричних сигналів до п'єзокерамічних пластин здійснюється від генератору ультразвукових коливань 8.

Дана установка призначена для експериментального визначення найбільш раціональних значень процесу ультразвукового різання: частоти коливань леза, напрямку його коливань (вздовж леза чи перпендикулярно до нього), ступеня підготовки сировини перед подрібненням.

Проведення запланованого обсягу експериментальних та теоретичних досліджень дозволить запропонувати нову технологію виготовлення колаген-вмісних функціональних м'ясних продуктів, яка буде промислово придатною.

Потенційними стейкхолдерами можуть бути наступні приладобудівні, машинобудівні та харчові підприємства України та Європейського Союзу: ПрАТ «Укрп'єзо» (м. Черкаси, Україна), ВАТ «Полтавамаш» (м. Полтава, Україна), ТОВ «Техпродсервіс» (м. Черкаси, Україна), ПП «Алнат» (м. Черкаси, Україна), Агроіндустріальний холдинг «Миронівський хлібопродукт» (м. Київ, Україна), ТОВ «М'ясорибторг» (с. Іркліїв, Україна), Група компаній «Глобіно» (с. Глобине, Україна), ТОВ «М'ясокомбінат «Салтівський»», ТОВ «Роганський м'ясокомбінат» (м. Харків, Україна), Robert Bosch GmbH (Німеччина), Braun GmbH (Німеччина), Tefal (Франція), Seydelmann (Німеччина), GEA (Нідерланди), Laska Maschinenfabrik GmbH (Австрія) тощо.

### **3. Інтенсифікація подрібнення колаген-вмісної м'ясної сировини шляхом корисного використання її кінетичної енергії під час кутерування**

Метою даних досліджень є обґрунтування за допомогою чисельних та натурних експериментів нових шляхів підвищення продуктивності кутера, покращення якості обробки сировини в ньому, зменшення енерговитрат на процес кутерування за рахунок взаємозгодження процесів подачі та подрібнення м'яса в кутері.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– розробити методики дослідження процесів, які відбуваються при взаємодії робочих органів кутера із м'ясною сировиною під час її подрібнення;

– встановити особливості гідродинаміки м'ясної сировини в робочій зоні кутера;

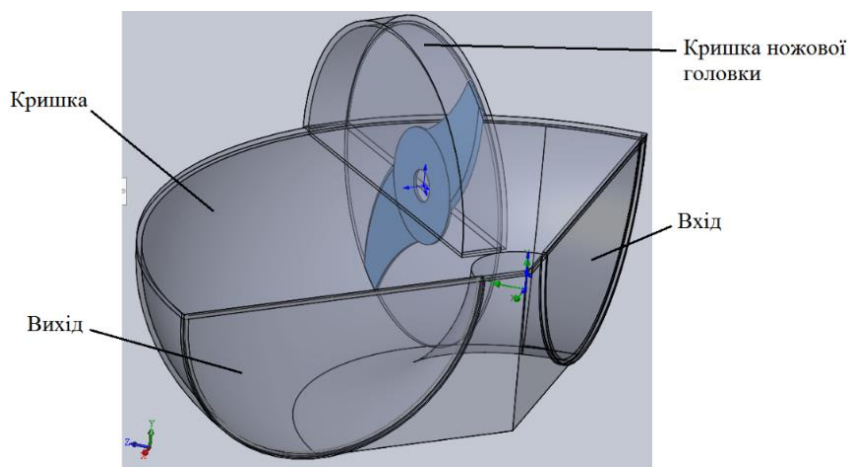
– запропонувати способи взаємоузгодження параметрів процесів подачі та подрібнення м'ясної сировини з метою підвищення продуктивності кутера, покращення якості обробки сировини в ньому, зменшення енерговитрат на процес кутерування;

Об'єкти дослідження: процеси подачі та подрібнення м'ясної сировини в кутерах.

Предмет дослідження: закономірності впливу конструктивних та кінематичних характеристик робочих органів кутерів на процеси гідродинаміку сировини та процес її подрібнення, їх взаємозалежність, взаємоузгодження і вплив на ефективність кутерування.

1. Основу даної роботи склали результати, отримані при чисельному моделюванні процесів, що супроводжують роботу кутера. А для верифікації отриманих результатів були використані натурні експериментальні дослідження на промисловому обладнанні (кутерах) в умовах діючого м'ясопереробного підприємства. Відтак, методики досліджень розділені відповідним чином.

З метою визначення особливостей та параметрів гідродинаміки м'ясної сировини в робочій зоні кутера проводилось чисельне моделювання параметрів руху м'ясної сировини за допомогою програмного комплексу SolidWorks FlowSimulation. Схема області розрахунку наведена на рис. 7.



**Рис. 7. Область розрахунку при моделюванні руху м'ясної сировини після ножової головки кутера**

Даний програмний комплекс призначений для моделювання тривимірних течій рідин та газів у технічних і природних об'єктах, а також для візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки. Течії можуть бути: стаціонарними та нестаціонарними (що змінюються із часом), стискуваними, слабостискуваними та нестискуваними. Комплекс ґрунтується на кінцево-об'ємному методі вирішення рівнянь гідродинаміки та використовує прямокутну адаптивну сітку із локальним подрібненням. Для апроксимації криволінійної геометрії з підвищеною точністю використовується технологія підсіткового розділення геометрії.

Процес моделювання руху рідини здійснювався за етапами:

1) створення області розрахунку в CAD SolidWorks та автоматичне імпортування моделі в модуль FlowSimulation в середовищі SolidWorks;

2) завдання виду математичної моделі (ламінальний потік; ньютонівська рідина тощо);

3) завдання граничних умов (вказування напрямку потоку рідини та обмежувальних поверхонь);

4) завдання кінематичних параметрів робочого органу та фізико-механічних параметрів м'ясної сировини (частота обертання ножів та чаші кутера, швидкість руху ножа, густина рідини, в'язкість рідини тощо);

5) завдання розрахункової сітки (використовувалась сітка із другим рівнем локального подрібнення в зонах контакту поверхні ножа з м'ясною сировиною);

6) завдання параметрів методів розрахунку (кількість ітерацій – 2000, точність – 0,01, для швидкості використовувався другий порядок точності, для тиску використовувався метод CGM);

7) проведення розрахунку;

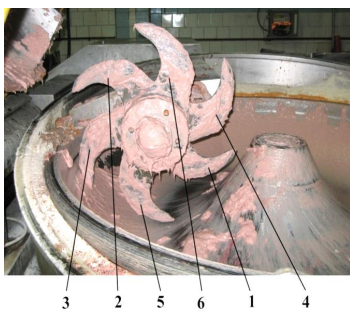
8) представлення результатів розрахунку в графічній формі (візуалізація результатів розрахунків) і збереження даних у файли.

При дослідженні параметрів процесів подачі м'ясної сировини за допомогою натурального експерименту використовувалась високошвидкісна відеозйомка та термографія процесу кутерування в кутері Laska KR-330-2V.

Кутер Laska KR-330-2V призначений для попереднього та тонкого подрібнення м'ясної сировини (рис. 8).



а)



б)



в)

**Рис. 8. Кутер Laska KR-330-2V:**

**а) загальний вид; б, в) вид з боку ножової головки: 1, 2 – ножі першої площини різання; 3, 4 – ножі другої площини різання; 5, 6 – ножі третьої площини різання**

Об'єм чаші кутера – 330 л. Ножова головка складається із 6-ти серповидних ножів. Частоти обертання ножової головки – 740; 1475; 2950  $\text{хв}^{-1}$ . Частоти обертання чаші – 9; 18  $\text{хв}^{-1}$ . Кутер вакуумний, глибина вакууму, що створюється в робочій зоні кутера – до 0,8. Потужність електродвигуна приводу ножового валу 110 кВт.

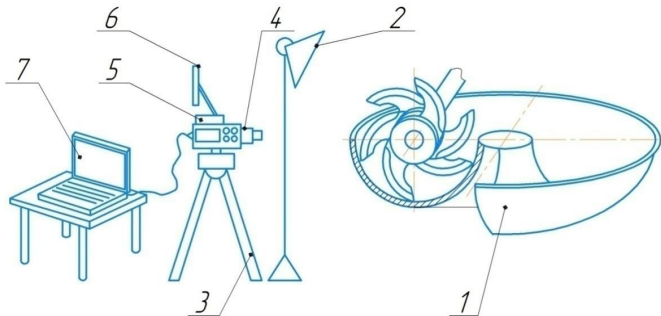
2. Процес дослідження особливостей гідродинаміки сировини в робочих зонах машин здійснювався шляхом виконання високошвидкісної відеозйомки процесу руху м'ясної сировини крізь відповідні робочі зони.

3. Схема досліджень показана на рис. 9. Зовнішній вигляд комплексу обладнання наведено на рис. 10, до нього входили:

– цифрова відеокамера SonyFS7 00;

- рекордер Odyssey 7Q Convergent Design;
- об'єктив SonySEL-18200 OSS;
- штатив ManfrottoTR 546B;
- LCD відеомонітор 9,7" Lilliput 969 A/O/P.

Даний комплект обладнання дозволяє проводити відеозйомку з якістю від FullHD до 4к. Під час досліджень використовувалась відеозйомка зі швидкістю 960 кадрів за секунду, роздільна здатність при цьому складала 1920×216 пікселів.



**Рис. 9. Схема експериментального дослідження гідродинаміки м'ясної сировини в кутері:**

- 1 – кутер; 2 – прожектор; 3 – штатив; 4 – відеокамера; 5 – рекордер;  
6 – монітор; 7 – персональний комп'ютер



**Рис. 10. Загальний вигляд обладнання для високошвидкісної відеозйомки, а також кутера, особливості гідродинаміки м'ясної сировини в якому досліджувались**

Термографія поверхні сировини та елементів обладнання в процесі обробки здійснювалась за допомогою цифрового тепловізора (рис. 11), персонального комп'ютеру та відповідного програмного забезпечення.



**Рис. 11. Вимірювання температури частин кутера та оброблюваної сировини за допомогою тепловізора ULIRvision TI384**

Тепловізор ULIRvision TI384 (інфрачервона камера) – є оптико-електронним приладом, який працює в інфрачервоній області електромагнітного спектру. Високочуттєва неохолоджуєма матриця тепловізора TI384, із роздільною здатністю 384x288 пікселів, дозволяє отримати чітке ІЧ-зображення і точні показники температури різних об'єктів живої і неживої природи. Спектральний діапазон – 8–14 мкм. Стандартний об'єктив –  $21 \times 15^\circ / f - 0,15$  м. Чутливість  $-0.1$  °C при 30 °C. Діапазон вимірів – від  $-20$  °C до  $+120$  °C. Точність вимірювань –  $\pm 2$  °C або  $\pm 2$  %. Спеціалізоване програмне забезпечення IRSee дозволяє проводити кількісне вимірювання температури в будь-якій точці цифрового фотознімку, виконаного тепловізором ULIRvision TI384.

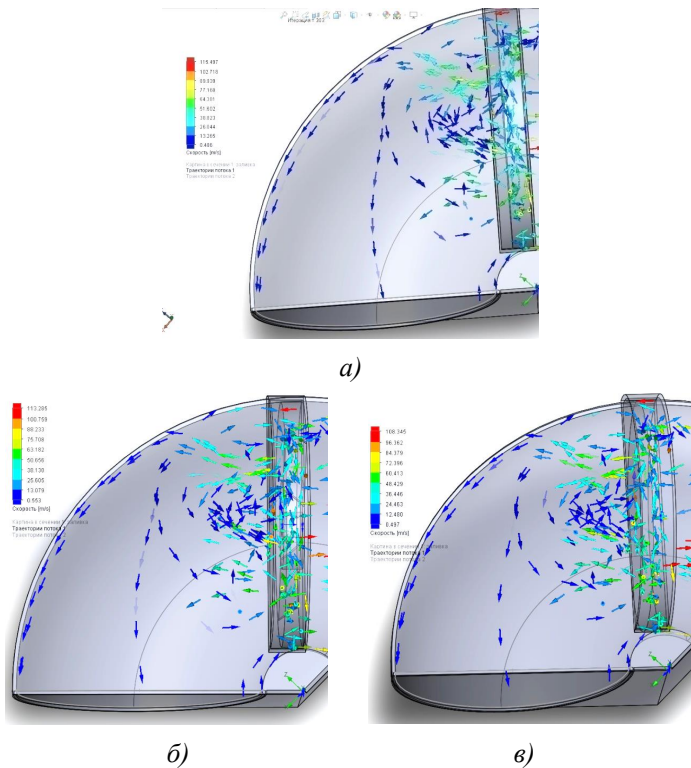
Достатньо наочно та цілісно побачити картину руху м'ясної сировини при кутеруванні дозволяє математичне моделювання за допомогою чисельних методів. На рис. 12, 13 показано результати моделювання. З них слідує, що потік сировини, який нагнітається ножами № 1 і № 2 ножової головки виходить із зони подрібнення під кутом  $20-35^\circ$  до вісі обертання ножів залежно від частоти їх обертання. Таке значення кута відповідає куту заточування ножів кутера. Далі потік сировини вдаряється об стінку чаші та рухається вздовж її стінок та кришки.

Швидкість шарів м'ясної сировини істотно залежить від площини вимірювання – більші значення швидкості спостерігаються в зоні, яка описується кінцями ножів. Менші значення – в зонах, що прилягають



до посадочної частини ножової головки. При частоті обертання ножів  $50 \text{ с}^{-1}$  максимальне значення швидкості м'ясної сировини досягає  $115 \text{ м/с}$ , середні значення –  $77,2 \text{ м/с}$ . При частоті обертання ножів  $25 \text{ с}^{-1}$  максимальне значення швидкості м'ясної сировини досягає  $100,7 \text{ м/с}$ , середні значення –  $50,6 \text{ м/с}$ . При частоті обертання ножів  $12,5 \text{ с}^{-1}$  максимальне значення швидкості м'ясної сировини досягає  $72 \text{ м/с}$ , середні значення –  $36,4 \text{ м/с}$ .

Поля розподілення тиску відповідають описаним особливостям гідродинаміки сировини. При частоті обертання ножів  $50 \text{ с}^{-1}$  максимальне значення тиску м'ясної сировини досягає  $5,5 \text{ МПа}$ , середнє значення –  $0,96 \text{ МПа}$ .

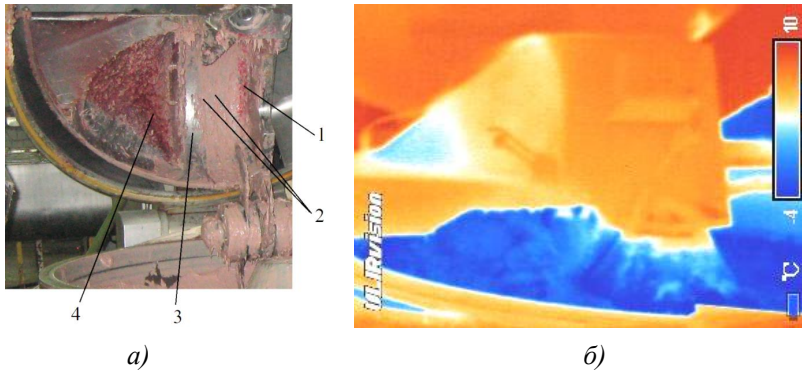


**Рис. 12. Візуалізація результатів чисельного моделювання кінематики руху м'ясної сировини у внутрішньому об'ємі чаші: а) при частоті обертання ножів  $50 \text{ с}^{-1}$ ; б) при частоті обертання ножів  $25 \text{ с}^{-1}$ ; в) при частоті обертання ножів  $12,5 \text{ с}^{-1}$**



знаходиться в зоні 2, сировина в ній відкинута ножами в площині їх обертання при вибігу (гальмуванні) ножової головки. Характерною є зона 3, в якій сліди сировини відсутні. Це вказує на відсутність відкидання сировини лезами ножів № 3–6, на відміну від ножів № 1 і № 2.

Дослідження нагріву поверхонь м'ясної сировини та конструктивних елементів дозволило отримати наступні результати (рис. 14, б).



**Рис. 14. Фотофіксація розподілу сировини по поверхні кришки ножової головки (а) і поля температур сировини та зовнішньої поверхні кришки ножової головки (б):**

**1 – сировина, яка винесена ножами першої площини різання із зони подрібнення за рахунок сил адгезії; 2 – сировина, яка відкинута ножами в площині їх обертання при вибігу (гальмуванні) ножової головки; ділянка, на якій відсутні сліди сировини; 4 – сировина, яка відкинута лезами ножів № 1 і № 2 першої площини різання**

Температура поверхні  $t_{нов}$  зовнішньої поверхні кришки ножової головки приймає наступні значення: в крайній правій циліндричній частині  $t_{нов} = 6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; в середині циліндричної частини  $t_{нов} = 6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; в крайній лівій циліндричній частині  $t_{нов} = 5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; в правій конічній частині  $t_{нов} = 4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; в лівій конічній частині  $t_{нов} = 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Сировина під кришкою має температуру від  $t_{нов} = -4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $t_{нов} = 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Якщо зіставити ці результати з результатами дослідження гідродинаміки сировини, то можна дійти наступних висновків. Найвищу температуру мають ті шари сировини, які були відкинуті ножами ножової головки, пройшли по діагоналі по поверхні чаші, піднялись вгору і по внутрішній поверхні кришки ножової головки були

направлені в зону серединного радіусу чаші. Цей потік показано на рис. 12 середньою лінією синього кольору. Йому відповідає максимальний тиск (рис. 13).

Децю меншу температуру мають шари сировини, які були відкинуті ножами ножової головки і далі рухались вздовж стінки чаші із тертям по ній. Даний потік показано рис. 12 лінією синього кольору, що розташована зліва.

Мінімальну температуру мають шари сировини, які ножами ножової головки були підняті вгору і по внутрішній поверхні кришки ножової головки потрапили в ту частину чаші, яка обертається на мінімальному радіусі. Цей потік показано на рис. 12 лінією синього кольору, що розташована справа біля центрального конусу чаші.

Загалом, це означає, що однією з причин нагрівання сировини при кутеруванні є її інтенсивне тертя по поверхням чаші та кришки ножової головки внаслідок високої кінетичної енергії після відкидання ножами першої площини різання. Даний факт має важливе значення при пошуку ефективних шляхів зменшення нагріву сировини та підвищення продуктивності кутерів.

Отримані результати моделювання підтверджуються даними високошвидкісної відеозйомки. З них випливає, що при кутеруванні на середній та на максимальній частоті обертання ножів м'ясна сировина відкидається із зони подрібнення з високою швидкістю, яка сягає 70–115 м/с, ножами № 1 і № 2 ножової головки під кутом 20°-35° до площин обертання ножів. Внаслідок цього сировина набуває високої кінетичної енергії, яка, відповідно до відомих законів фізики, перетворюється в тепло при наступному гальмуванні відрізаних шарів м'ясної сировини об стінку чаші та об кришку чаші та об кришку ножової головки.

Означені характерні особливості гідродинаміки м'ясної сировини в робочій зоні кутера призводять одразу до трьох суттєвих негативних явищ:

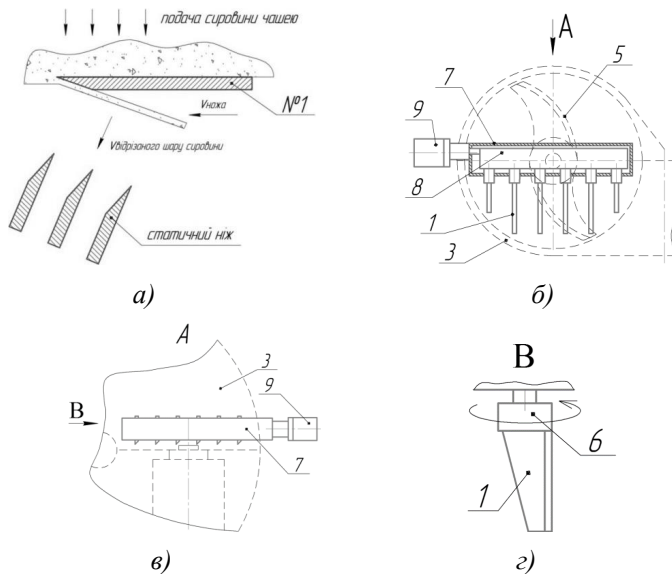
- зниження продуктивності кутера внаслідок винесення м'ясної сировини із зони подрібнення;
- занадто високих непродуктивних енерговитрат на процес кутерування;
- інтенсивного нагріву м'ясної сировини, через що, задля усунення денатурації білка, в м'ясну сировину слід додавати спеціально виготовлений на відповідному обладнанні лусковий лід або ж крижану воду.

Актуальною є розробка способу усунення даних негативних явищ.

Нами розроблено спосіб взаємоузгодження параметрів процесів подачі та подрібнення м'ясної сировини з метою підвищення продуктивності кутера, покращення якості обробки сировини в ньому, зменшення енерговитрат на процес кутерування.

Вирішення поставленої вище проблемної задачі базувалось на використанні раніше розробленої автором концепції вдосконалення технологічного обладнання. Відповідно до її положень ефективним рішенням вважається таке при якому нова функція в системі реалізується з найменшими витратами матеріалу, енергії та коштів за рахунок використання вже наявних в системі конструктивних елементів або силових полів. Найраціональнішим слід вважати той випадок, коли негативний чинник починає приносити позитивний результат.

В даному випадку під наявними силовими полями слід розуміти високу кінетичну енергію шматків сировини після її подрібнення одним із ножів ножевої головки. Цю енергію запропоновано використовувати для подрібнення м'ясної сировини об нерухомі (статичні) різальні елементи (ножі), які встановлені по напрямку руху м'ясної сировини після подрібнення одним із ножів ножевої головки. Принципова схема запропонованого пристрою показана на рис. 15.



**Рис. 15. Принципова схема пристрою статичного типу для підвищення питомої продуктивності кутера:  
а) – схема роботи пристрою; б, г) – устрій пристрою**

Пристрій статичного типу для підвищення продуктивності кутера складається з щонайменше одного статичного ножа 1, який розміщений після ножової головки 2 кутера по напрямку обертання чаші 3. Кожен статичний ніж 1 розташований переважно перпендикулярно до поверхонь 4, що заточуються, лез ножів 5 обертової ножової головки 2 при їх русі в чаші 3. Пристрій додатково обладнаний щонайменше одним тримачем 6, корпусом 7, передаточним механізмом 8 та приводом 9. При цьому кожен статичний ніж 1 закріплений в корпусі 7 за допомогою тримача 6 з можливістю обертання навколо вертикальної вісі. Обертання статичних ножів 1 здійснюється під дією приводу 9 за допомогою передаточного механізму 8. Робота приводу 9 підпорядкована системі керування кутера. При обертанні ножової головки кутера ножі ножової головки інтенсивно відкидають відрізані пласти м'ясної сировини в напрямку, наближеному до перпендикуляру до поверхонь заточок ножів, тобто – вперед і у бік чаші по напрямку її обертання.

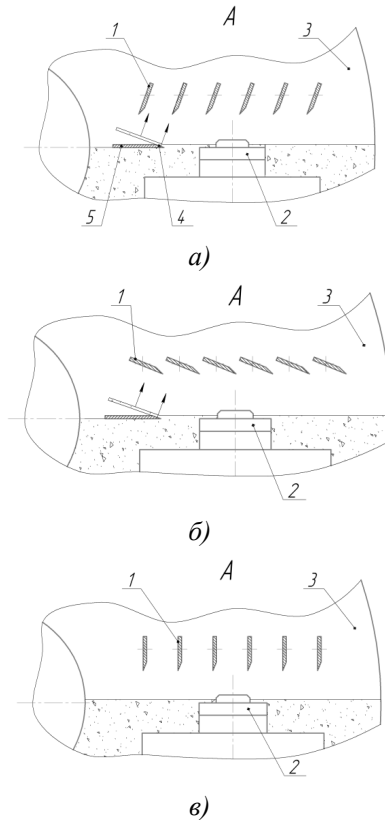
Відрізані пласти м'ясної сировини нашттовхуються на ножі 1 і за рахунок своєї високої кінетичної енергії подрібнюються на них (швидкість руху пластів м'ясної сировини наближена до лінійної швидкості руху точок ножа, 70–160 м/с).

Цим забезпечується додаткове інтенсивне подрібнення м'ясної сировини без використання надлишкової енергії і шкідливого надлишкового нагріву, що призводить до підвищення продуктивності кутера при одночасному зменшенні його енергоспоживання та підвищенні якості обробки сировини.

Виконання статичних ножів 1 поворотними дозволяє адаптувати режими роботи пристрою для підвищення подрібнювальної здатності кутера при виготовленні фаршів різних видів ковбасних виробів, а також в межах одного циклу при початку подрібнення кускової м'ясної сировини та при фінішному емульгуванні безструктурних фаршів.

Так при подрібненні фаршів сирокочених ковбас, а також при початку кутерування кускової м'ясної сировини статичні ножі 1 розташовуються по напрямку польоту шарів м'ясної сировини (рис. 16, а). При цьому забезпечується подрібнення м'ясної сировини шляхом її розрізання різальними окрайками ножів 1. При подрібненні ж фаршів безструктурних ковбасних виробів (варених ковбас, сосисок, сардельок тощо), особливо наприкінці циклу кутерування (при емульгуванні фаршу) ножі 1 розташовуються під кутом до напрямку польоту пластів м'ясної сировини (рис. 16, б), що сприяє подрібненню м'ясної сировини шляхом диспергування при ударі. При обертанні чаші кутера без обертання ножів ножової головки ножі 1

пристрою розташовуються по напрямку обертання чаші кутера (рис. 16, в).



**Рис. 16. Положення елементів пристрою статичного типу для підвищення продуктивності кутера при різних умовах кутерування**

Передаточний механізм 8 може бути виконаний у вигляді зубчастої рейки, яка обертає шестерні тримачів 4, або у вигляді черв'ячного валу, який обертає черв'ячні колеса тримачів 4, або у вигляді приводної тяги та системи поворотних важелів, які повертають тримачі 4 тощо. Привод 9 може бути виконаний у вигляді крокового електродвигуна з редуктором або без, у вигляді гідро- або пневмоциліндру тощо.

В результаті, при використанні даного пристрою стає можливим використати негативний чинник для отримання позитивних ефектів, а

саме для підвищення продуктивності кутера, зменшення енерговитрат на процес кутерування та для зменшення нагріву сировини під час кутерування.

Промислові випробування розробленої конструкції пристрою дозволили встановити, що при його використанні продуктивність кутера підвищується на 45 %, причому, без збільшення енергоспоживання, а температура фаршу зменшується на 3 °С. Загалом, можна вести мову про зниження енергоспоживання кутера за один цикл переробки м'ясної сировини.

Незважаючи на перераховані вище переваги розробленого пристрою для підвищення продуктивності кутера, йому властивий такий недолік, як неможливість подрібнення замороженої кускової сировини. Це обмежує універсальність кутера і вимагає обов'язкового попереднього подрібнення замороженої сировини на дробарці тієї чи іншої будови.

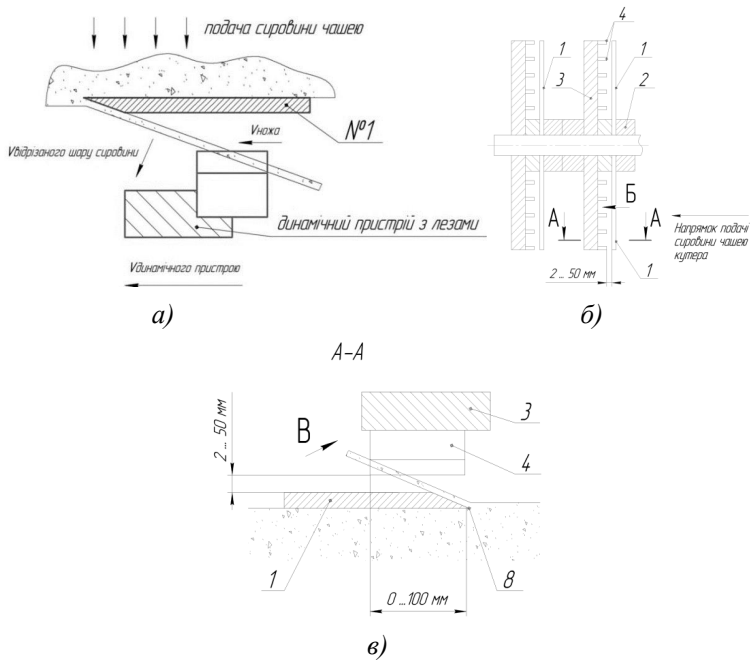
Для вирішення цієї задачі було розроблено конструкцію пристрою динамічного типу для підвищення питомої продуктивності кутера (рис. 17, 18).

Пристрій складається з щонайменше одного ножа 1, який встановлений на ножовому блоці 2. Пристрій містить щонайменше одну державку 3 з лезами 4, яка розташована після кожного ножа 1. Державка 3 містить щонайменше одне лезо 4 та елементи кріплення 5 і 6 леза до державки.

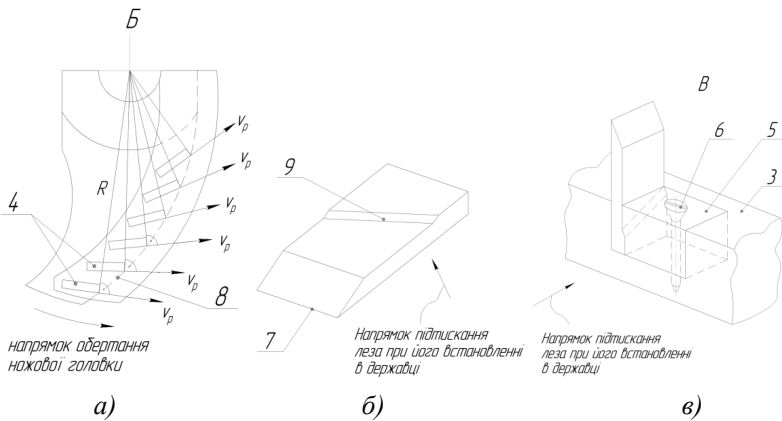
Леза виконані і розташовані в державці, а вона розташована в ножовій головці таким чином, що у фронтальній проекції ножової головки різальні крайки 7 лез простираються за різальний крайок 8 леза ножа в напрямку, зворотному напрямку обертання ножової головки, на відстань до 100 мм. Кожне лезо 4 в державці розміщено так, що його різальний крайок 7 розташований переважно по напрямку сили різання  $v_p$  на даному радіусі обертання  $R$  точок ножової головки.

Державка розміщена в ножовій головці так, що леза 4 розміщені на відстані 2–50 мм від відповідного ножа 1. Кожне лезо 4 на своїй посадочній частині має похилий зкос 9, а один з елементів кріплення 5 має відповідний похилий виступ 10 і кріпиться до державки різьбовим з'єднанням 6. При закріпленні елемента кріплення 5 на державці його похилий виступ 10 взаємодіє з похилим скосом 9 леза 4, внаслідок чого лезо 4 підтискається і фіксується від зміщення на державці 3 в площині обертання державки та в перпендикулярній до неї площині.





**Рис. 17. Пристрій динамічного типу для підвищення питомої продуктивності кутера:**  
 а) схема роботи пристрою; б, в) устрій пристрою



**Рис. 18. Устрій пристрою динамічного типу для підвищення питомої продуктивності кутера**

Пристрій працює наступним чином. Під час обертання ножової головки ножі 1 своїми лезами інтенсивно відкидають відрізані пласти сировини. При цьому пласт сировини на початку свого руху рухається вздовж поверхні заточки леза. Наштовхуючись з високою швидкістю на леза 4 державки 3 сировина додатково подрібнюється, чим забезпечується підвищення продуктивності кутера. Для заточування лез 4 відгвинчуються елементи кріплення 6, знімаються елементи кріплення 5 та вивільнюються леза 4.

Загалом, наведені вище шляхи дозволяють інтенсифікувати процес подрібнення сировини в кутері, причому, без зайвих на це енерговитрат. Одночасно з цим досягається підвищення якості обробки сировини за рахунок зменшення емісії тепла в неї при кутеруванні.

## **ВИСНОВКИ**

Розроблено три нові способи подрібнення м'ясної сировини, які ґрунтуються на використанні специфічних форм коливань різального інструменту для забезпечення максимальної ефективності процесу подрібнення сировини зі змінними фізико-механічними властивостями.

Вперше запропонована високопродуктивна, енерго- та ресурсоощадна технологія виготовлення колаген-вмісних функціональних м'ясних продуктів, яка заснована на використанні ультразвукових коливань швидкообертового різального інструменту.

Розроблені способи подрібнення сировини реалізуються новими конструкціями ультразвукових подрібнювальних комплексів з п'єзоелектричними коливальними системами, які відрізняються видом та кількістю п'єзоактуаторів, їх розміщенням в різальних комплектах і які призначені для малогабаритного та промислового виконання. Вони дають можливість зменшити зусилля різання колаген-вмісної сировини в 4–6 разів, що дозволяє значно спростити та здешевити виготовлення функціональних м'ясних продуктів.

Крім того, ще одним вагомим наслідком впровадження отриманих наукових результатів є суттєве зменшення енерговитрат при виготовленні функціональних м'ясних продуктів вітчизняними та світовими промисловими виробниками за рахунок виключення найбільш енергоємної та довготривалої операції підготовки м'ясної сировини перед подрібненням. Це, в свою чергу, відповідає загальній тенденції переходу на «зелені» промислові технології в світі.

Розвинуто уявлення про особливості взаємодії ножів кутерів із сировиною. При кутеруванні на середній та на максимальній частоті

обертання ножів м'ясна сировина відкидається із зони подрібнення з високою швидкістю, яка сягає 70–115 м/с, ножами № 1 і № 2 ножової головки під кутом 20°–35° до площин обертання ножів. Внаслідок цього сировина набуває високої кінетичної енергії, яка далі перетворюється в тепло при наступному гальмуванні відрізаних шарів м'ясної сировини об стінку чаші та об кришку чаші та об кришку ножової головки.

Означені особливості гідродинаміки м'ясної сировини в робочій зоні кутера призводять суттєвих негативних явищ:

- зниження продуктивності кутера внаслідок винесення м'ясної сировини із зони подрібнення;
- занадто високих непродуктивних енерговитрат на процес кутерування;
- інтенсивного нагріву м'ясної сировини, через що, задля усунення денатурації білка, в м'ясну сировину слід додавати спеціально виготовлений на відповідному обладнанні лусковий лід або ж крижану воду.

Запропоновано нові типи пристроїв для підвищення продуктивності кутера. Їх застосування дозволяє підвищити продуктивність кутера на величину до 60 % та знизити температуру фаршу на 4,5 °С, що є значною величиною, зважаючи на дійсні значення температур м'ясної сировини під час кутерування. Це супроводжується суттєвим зниженням енергоспоживання кутера за один цикл переробки м'ясної сировини за рахунок більш повного використання її кінетичної енергії.

## **АНОТАЦІЯ**

Наведені результати досліджень присвячені розробці нової технології виготовлення м'ясних продуктів функціонального призначення, що будуть спрямовані на вирішення фізіологічних потреб людини в умовах бойових дій. Основою нової технології є використання високоефективних багатокомпонентних ультразвукових коливальних систем, зокрема мобільного, енергоощадного комплексу для інтенсифікації процесу подрібнення м'ясної сировини при виготовленні функціональних м'ясних продуктів. Дані продукти спрямовані на деінтоксикацію організму учасників бойових дій, профілактику у них захворювань серцево-судинної системи, суглобів, а також підвищення рівня їх енергійності та стимулювання у них розвитку м'язів. Розроблено дві конструкції обладнання для подрібнення колаген-вмісної м'ясної сировини з використанням ультразвуку. Запропоновано

ресурсо- та енергоефективні шляхи інтенсифікації процесу кутерування колаген-вмісної м'ясної сировини.

### Література

1. Майстренко Л. А., Юнгін О. С., Ластовецька Л. О. Екстрагування колагену з недублених відходів шкіряного виробництва. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2020. № 5. С. 269–273.
2. Long He, Yongfang Gao, Xinyue Wang, Ling Han, Qunli Yu, Hongmei Shi, Rende Song. Ultrasonication promotes extraction of antioxidant peptides from oxhide gelatin by modifying collagen molecule structure. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021. Volume 78. P. 1–10.
3. Guixia Li, Yunfei Wan, Xuan Song, Ying Wang, Linsen Zan, Jie Zhu. Effects of Various Processing Methods on the Ultrastructure of Tendon Collagen Fibrils from Qinchuan Beef Cattle Observed with Atomic Force Microscopy. *Journal of Food Quality*. Volume 2018. P. 123–131.
4. Da-Cheng Kang, Yun-He Zou, Yu-Ping Cheng, Lu-Juan Xing, Guang-Hong Zhou, Wan-Gang Zhang. Effects of power ultrasound on oxidation and structure of beef proteins during curing processing. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016. № 33. P. 47–53.
5. Ye Zou, Heng Yang, Xinxiao Zhang, Pingping Xu, Di Jiang, Muhan Zhang, Weimin u & Daoying Wang. Effect of ultrasound power on extraction kinetic model, and physicochemical and structural characteristics of collagen from chicken lung. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2020. Volume 2. P. 144–156.
6. Wolfram Schnäkel, Ingo Micklisch. Neue Werkzeugtechnik zur Erhöhung der Verarbeitungseffektivität im Kutterprozess: 1. Mitteilung: Nachweis der Funktionsfähigkeit von schräg gestellten Kuttermessern. *Fleischwirtschaft*. 2018. № 3, S. 126–132.
7. Wolfram Schnäkel, Haack Eberhard. Der 3D-Druck eröffnet Möglichkeiten: Gedruckte Werkzeuge für die Fleischbearbeitung bringen technisch-technologische Vorteile. *Fleischwirtschaft*. 2019. Bd. 99 4, S. 136–139.
8. Debabrata Panda and Sivakumar Manickam (2019). Cavitation Technology–The Future of Greener Extraction Method: A Review on the Extraction of Natural Products and Process Intensification Mechanism and Perspectives. *Appl. Sci*. 2019. № 4. P. 1–21.
9. Melodie Chen-Glasser, Panpan Li, Jeongjae Ryu and Seungbum Hong. Piezoelectric Materials for Medical Applications. In book: Piezoelectricity – Organic and Inorganic Materials and Applications. *Intech Open*. 2018. P. 125–145.

10. Jinkai Xu, Ren Huanhuan. Design and finite element simulation of an ultrasonic transducer of two piezoelectric discs. *Journal of Measurements in Engineering*, 2017. Vol. 5. P. 266–272.

11. Hammer G.; Stoyanov S. Kuttern mit zwei Messern und Kutterleistung. Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel. *Jahresbericht*. 2007. Vol. 01. P. 24–26.

12. Hammer, G. F. et al. Brühwurstbrät – Kuttern mit verschiedenen Messern. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*. 2005. № 168, P. 57–64.

13. Hammer G., Stoyanov S. Kuttermesser – unterschiedliche anschliff- und gleitwinkel. *Mitteilungsblatt fleischforschung Kulmbach*. 2010. Vol. 49. P. 183–195.

14. Hammer G., Stoyanov S. Über das Kuttern von Bruhwurstbrat. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*. 2008. Vol. 47. P. 243–251.

15. Stoyanov S., Hammer G. Kuttern: Kräfte am Messer, Temperatur und Leistung. *Kulmbacher Woche – Kurzfassung Vortrag*. 2007. Vol. 4. P. 27–31.

16. Schnackel W., Micklisch I., Krickmeier J., Schnackel D., Untersuchungen zur Optimierung von Kuttermessern. 3. Optimierung der Kuttermessform zur Herstellung von Brühwürsten. *Fleischwirtschaft*. 2008. № 6. P. 96–102.

17. Wolfram Schnackel, Ingo Micklisch, Janet Krickmeier, Dimitrinka Schnackel. Optimisation of cutter knives for the production of cooked sausages. *Food science, engineering and technologies* (Plovdiv, 24–25 October). Plovdiv, 2008. P. 77–83.

18. Haack E., Schnackel W., Haack O. Messerverschleiß ist reduzierbar abläufe in den einzelnen Schneideebenen eines Schneidsatzen eines fleischwolfes. *Fleischwirtschaft*. 2003. Vol. 7. P. 23–26.

19. Haack E., Schnackel W., Krickmeier J. Wirkungsgrade deutlich verbessern. *Fleischwirtschaft*. 2012. Vol 6. P. 25–33.

20. Haack E., Schnackel W., Stoyanov S. Wolftechnik – Der Rohstoff spielt eine Doppelrolle – Konstruktionsqualität und abgestimmte Messergeometrien ermöglichen neue Leistungsbereiche. *Fleischwirtschaft*. 2007. Vol. 1. P. 50–55.

21. Haack E., Schnackel W. Kombinationsmöglichkeiten quasi unbegrenzt – Trennsysteme zur Aufwertung stofflicher Eigenschaften von Fleisch. *Fleischwirtschaft*. 2008. Vol. 3. P. 49–54.

22. Haack E., Schnackel W. Vom Rohstoff zum Feinbrät – ein Arbeitsgang – Trennsysteme zur Aufwertung stofflicher Eigenschaften von Fleisch. *Fleischwirtschaft*. 2008. Vol. 4. P. 5–80.

23. Kolev E., Stoyanov S. Verifikationsmethode zur Bestimmung der Belastung an Bauteilen durch Simulation und Experiment. *Internationales Wissenschaftliches Kolloquium*. 2002. Vol. 47. P. 23–26.

**Information about the author:**

**Batrachenko Oleksandr Viktorovich,**

Doctor of Engineering,

Associate Professor at the Department of Food Technology

Cherkasy State Technological University

460, Shevchenko blvd., Cherkasy, 18006, Ukraine