

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 637.33

Кваліфікаційна робота на правах
рукопису

МОЖАРІВСЬКИЙ Іван Володимирович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОДРІБНЮВАЧА М'ЯСНОЇ
СИРОВИНИ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
к.т.н., доц. Медведський О.В.

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Можарівський І. В. **Підвищення ефективності подрібнювача м'ясної сировини.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023 р.

Кваліфікаційна робота спрямована для вирішення важливого науково-технічного завдання підвищити ефективність здрібнювача м'яса типу «вовчок». Виконаний аналіз технічних рішень вказав на резерви підвищення пропускної спроможності здрібнювача.

Отримано аналітичні та графічні залежності визначення конструкційних та технологічних параметрів здрібнювача м'яса типу «вовчок» залежно від змінних факторів та умов використання.

За результатами досліджень отримали змогу встановити оптимальні значення геометрії витка гвинта, його частоти обертання, товщини протирізальної пластини, запропоновані рішення дозволять підвищити вдвічі пропускну спроможність здрібнювача при незмінних конструкційних параметрах.

Ключові слова: м'ясо, протирізальна пластина, пропускна спроможність, частота обертання, кут обхвату

ANNOTATION

Mozharivskiyi I. V. **Increasing the efficiency of the meat grinder.** – Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2023.

The qualification work is aimed at solving the important scientific and technical task of increasing the efficiency of the "wovchok" type meat grinder. The performed analysis of technical solutions indicated reserves for increasing the capacity of the shredder.

Analytical and graphical dependences of the determination of structural and technological parameters of the "wovchok" type meat grinder depending on variable factors and conditions of use were obtained.

Based on the results of the research, we were able to establish the optimal values of the geometry of the screw turn, its rotation frequency, and the thickness of the counter-cutting plate, the proposed solutions will allow to double the capacity of the shredder with unchanged design parameters.

Key words: meat, cutting plate, throughput, rotation frequency, girth angle

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПОДРІБНЕННЯ М'ЯСА	7
1.1. Характеристика способів подрібнення м'яса сільськогосподарських тварин	7
1.2. Аналіз технічних засобів для дрібного подрібнення м'яса	9
1.3. Висновки до розділу 1	13
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА М'ЯСА	14
2.1. Встановлення напрямів удосконалення здрібнювача типу «ВОВЧОК»	14
2.2. Встановлення умов збільшення продуктивності подрібнювача типу «ВОВЧОК»	20
2.3. Висновки до розділу 2	22
РОЗДІЛ 3. ВСТАНОВЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА ТИПУ «ВОВЧОК»	23
3.1. Визначення впливу технологічних параметрів на продуктивність здрібнювача типу «ВОВЧОК»	23
3.2. Встановлення ефективності конструкційних рішень удосконаленого здрібнювача м'яса типу «ВОВЧОК»	28
3.3. Висновки до розділу 3	30
ВИСНОВКИ	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33

ВСТУП

Актуальність теми. Споживання м'яса та продуктів переробки м'яса у достатній кількості для населення країни є важливим джерелом поживних речовин для організму людини [1]. Рівень споживання м'яса та м'ясопродуктів у нашій країні залишається недостатнім – 52 кг на одну людину в рік при потребі 80 кг/рік. [2] Такий стан речей вказує на необхідність підвищити обсяги споживання в розрізі різних видів м'яса у вигляді продуктів переробки.

В першу чергу споживання м'ясних виробів населенням країни залежить від обсягів виробництва сировини та обсягів переробки отриманої сировини у готовий продукт. В свою чергу переробка м'ясної сировини у готовий продукт визначається особливістю технологічних процесів переробки та технічним рівнем технологічного обладнання. Однією із перших операцій переробки при надходженні сировини до підприємства є розробка туш із використанням різних розпиловочних машин. В подальшому відбувається подрібнення на менші шматки із видаленням сполучних тканин, жил і т. д. Для отримання дрібнішого продукту при приготуванні ковбасних виробів використовують подрібнювачі типу «вовчок» та подрібнювальні кутера. [3]

Кращої якості та консистенції подрібненого продукту для отримання гарних ковбасних виробів досягають при використанні м'ясорубок типу «вовчок». Промисловість пропонує переробним підприємствам номенклатуру такого обладнання з набором різноманітних комплектуючих систем подрібнення для отримання різної ступені подрібнення м'яса, що розширює можливий асортимент продуктів переробки м'яса. Проте наявне обладнання потребує якісного обслуговування в процесі експлуатації. Це, в першу чергу пов'язано із технічним станом різальних елементів. Окрім цього дослідники вказують на недостатню продуктивність такого обладнання, оскільки система подавання шматків м'яса до подрібнюючого механізму та продуктивність подрібнювача не узгоджені між собою. [4-7]

Тому, пошук технічних рішень покращення ефективності подрібнювача м'яса типу «вовчок» є важливим завданням збільшення обсягів переробки м'яса із одночасним зниженням собівартості кінцевого.

Мета і задачі досліджень. Мета досліджень спрямована на підвищення ефективності подрібнювачів м'яса типу «вовчок» шляхом інтенсифікації технологічного процесу.

Для досягнення вказаної мети потрібно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз класифікаційних ознак подрібнювачів м'ясної сировини, встановити їх переваги та недоліки;
- встановити напрям удосконалення подрібнювача типу «вовчок», обґрунтувати конструкційно-технологічну схему;
- визначити технологічні та конструкційні параметри удосконаленого подрібнювача м'яса;
- встановити залежності узгодження геометричних параметрів механізму подачі із кінематичними режимами роботи різального механізму;
- визначити переваги запропонованих удосконалень подрібнювача м'яса типу «вовчок» перед серійним обладнанням.

Об'єкт дослідження – процес здрібнення м'яса у подрібнювачі типу «вовчок».

Предмет дослідження – закономірності взаємодії механізму подачі та різання здрібнювача м'яса типу «вовчок».

Методи досліджень. Для теоретичних досліджень використовувались відомі та широко використовувані теоретичні положення інтегрального та диференціального обчислення, використовували методи з математичного аналізу, метод чисельних моделювань процесу здрібнення для встановлення аналітичних та графічних залежностей, також широке використання відомих законів гідравліки та теплотехніки, термодинаміки та пневматики з основами гідродинаміки.

Отримані в процесі проведених досліджень дослідні дані оброблялися за допомогою використання програмних продуктів Microsoft Excel та інших доступних програм.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень, які були отримані у магістерській роботі пройшли апробацію шляхом доповідей на конференціях та наведені у таких роботах:

1. Можарівський І. В. Класифікаційні ознаки подрібнювачів м'ясної сировини типу «вовчок». *Студентські читання–2023* : матеріали науково-практичної конференції. 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 222–224.

2. Медведський О. В., Можарівський І. В. Розроблення конструкції подрібнювача м'ясної сировини. *Інженерні процеси та системи* : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених. 14-15 червня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 136–138.

3. Медведський О. В., Можарівський І. В. Встановлення технологічних параметрів подрібнювача м'ясної сировини. *Біоенергетичні системи* : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 127–129.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота у своєму складі має три розділи, які містять виклад основних положень та результатів досліджень, вступ до роботи, загальні висновки та список використаної літератури, який налічує 21 джерело. Текст займає 34 сторінки на форматі А-4, написано державною мовою, має 18 рисунків та графіків.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПОДРІБНЕННЯ М'ЯСА

1.1. Характеристика способів подрібнення м'яса сільськогосподарських тварин

Подрібнення м'яса є важливим технологічним процесом у подальшому виробництві м'ясних виробів, таких як ковбаси та ін. Кожен м'ясний виріб потребує м'ясо з певним ступенем подрібнення, відповідно існує класифікаційний поділ технічних засобів (рис. 1.1). [4-7]



Рис. 1.1. Класифікація машин для подрібнення м'яса.

В свою чергу номенклатура машин яка подана на рис. 1.1 має подрібнювачі більш вузькоспеціалізованого призначення.

Так, велике подрібнення відзначається відокремленням великих шматків від туш – голови, кінцівок, отримання напівтуш та шматків туш, знімання шкіри та сала і т.д. [7-8]

Машини середнього здрібнення використовують для подрібнення кісток, розрізання жирної складової та з'єднувальних тканин, твердих частин та формування напівфабрикатів. [8-10]

Дрібне подрібнення використовується для отримання кускового фаршу за допомогою кутерів та здрібнювачів м'яса типу «вовчок». [7-10]

Тонке подрібнення необхідне для отримання дрібнодисперсних середовищ, для цього використовують колоїдні млини. [7-10]

Здрібнювачі м'яса типу «вовчок» класифікують за способом надходження сировини (рис. 1.2).

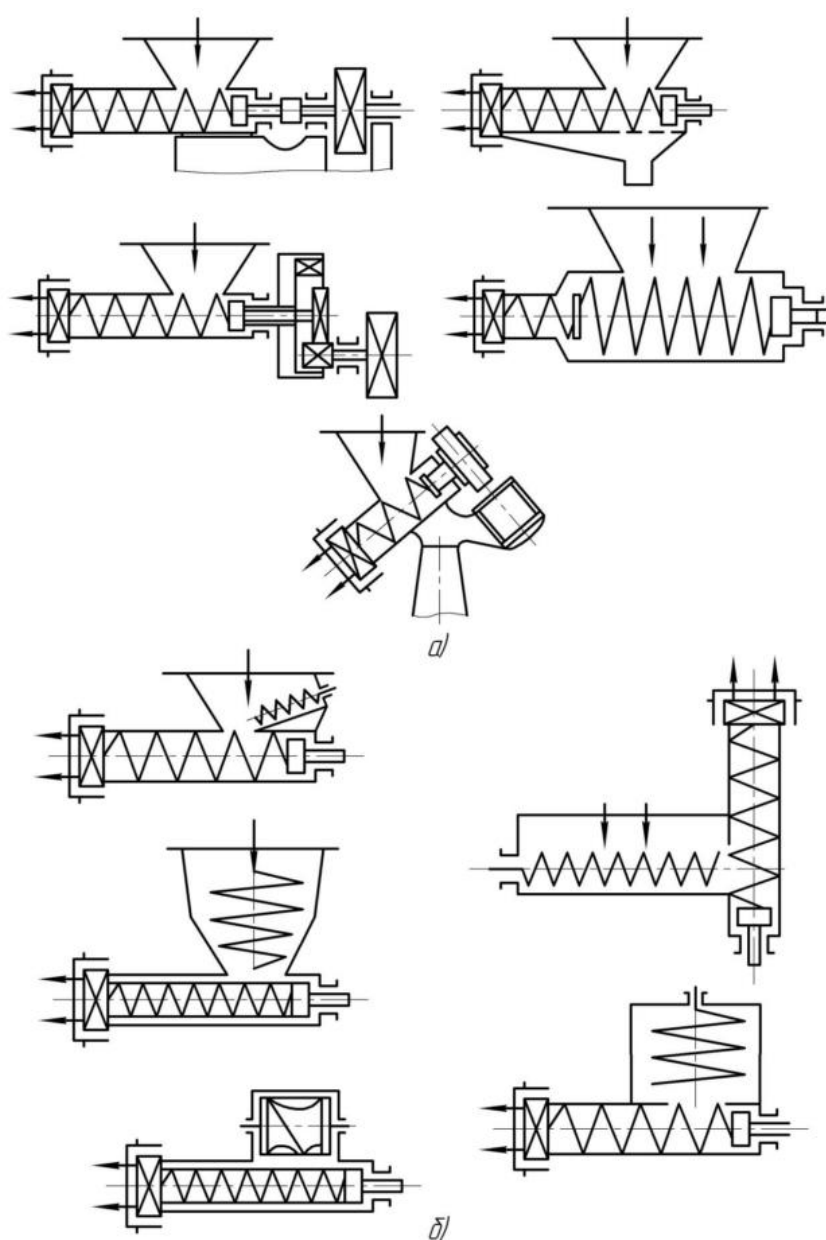


Рис. 1.2. Схеми здрібнювачів м'яса типу «вовчок»: *а* – гравітаційна подача сировини; *б* – примусове надходження сировини [7-11]

Здрібнювачі м'яса типу «вовчок» використовуються у приготуванні сировини для отримання ковбасних варених виробів. Залежно від особливостей надходження м'яса до подрібнювального механізму розрізняють машини із гравітаційною та примусовою подачею. [11]

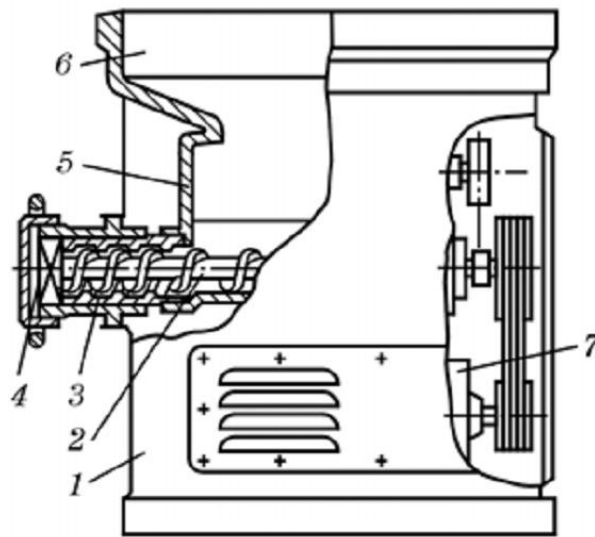
Машини із гравітаційним завантаженням робочої зони подачі ще називають м'ясорубками. Як правило такі машини використовуються у невеликому виробництві, а завантаження відбувається в більшості випадків ручному режимі. Можливе використання і механічного завантаження при потоковій схемі організації технологічного процесу на підприємстві.

Примусова подача може вважатись більш ефективним способом транспортування сировини до робочих органів подрібнюючого механізму. Але велика різноманітність способів реалізації такого типу подачі не дає можливості встановлення раціонального рішення. Так, подача має бути максимально ефективною як технологічно так і конструкційно. Різноманітні схеми бокової, поперечної та послідовної подачі потребують додаткового дослідження. [11]

Зрозуміло, що кращим буде вважатись машина яка має найкращі питомі показники за продуктивністю та енергоємністю. З цією метою необхідно провести аналіз відомих конструкцій здрібнювачів м'яса типу «вовчок» різних виробників. [11]

1.2. Аналіз технічних засобів для дрібного подрібнення м'яса

Подрібнювач м'яса із гравітаційним подаванням вважається найбільш поширеним технічним засобом який належить до м'ясорубок типу «вовчок». До складу такого типу машин входять наступні складові (рис. 1.3). У корпусі розташована приймальна та завантажувальна горловина через яку подається сировина до шнека. Шнек подає сировину до різального механізму, який складається із набору протирізальних пластин та ножів. [10]



a



б



в

Рис. 1.3. М'ясорубка типу «вовчок» виробництва «ПОЛТАВАМАШ» [12]: *a* – структурна схема; *б* – загальний вигляд машини; *в* – набір робочих елементів механізму подрібнення; 1 – основа; 2 – шнек; 3 – корпус шнека; 4 – механізм подрібнювальний; 5 – напрямна; 6 – зона приймача; 7 – електродвигун приводу.

Кількість ножів та протирізальних пластин може бути різною. Це залежить від необхідної ступені подрібненої маси. Для отримання дрібнішого продукту використовують дві протирізальні пластини із отворами останньої на виході 2-3 мм та два ножі (рис. 1.4, *a*). Для більшого ступеня подрібнення використовується протирізальна пластина з отворами 16-25 мм та один ніж (рис. 1.4, *б*).

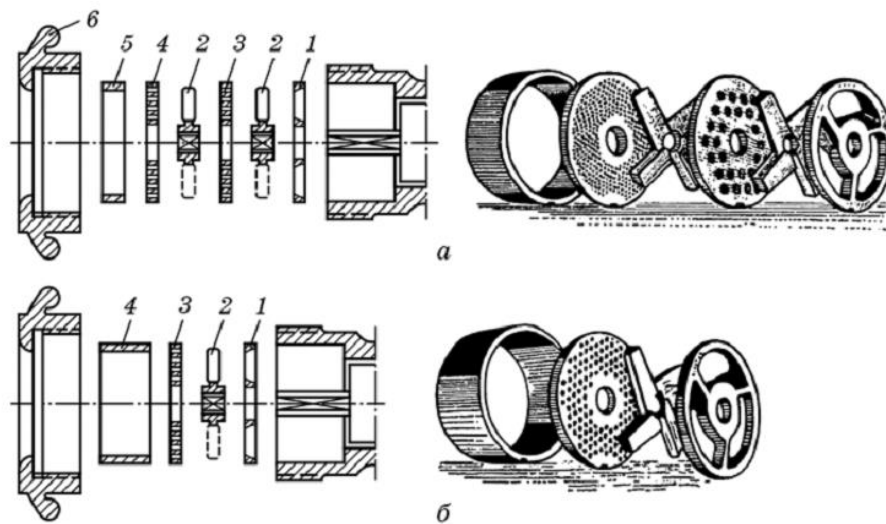


Рис. 1.4. Механізм подрібнювальний: *а* – дрібне подрібнення: 1 – решітка приймальна; 2 – ніж подвійної дії; 3 – пластина середня; 4 – пластина кінцева (отвори 2-3 мм); 5 – кільце розпірне; 6 – затискний пристрій; *б* – крупне подрібнення: 1 – решітка приймальна; 2 – ніж подвійної дії; 3 – пластина середня (отвори 16-25 мм); 4 – кільце розпірне. [10]

Для збільшення інтенсивності подрібнення використовують подрібнювачі із системами примусового спрямування сировини до шнека (рис. 1.5).

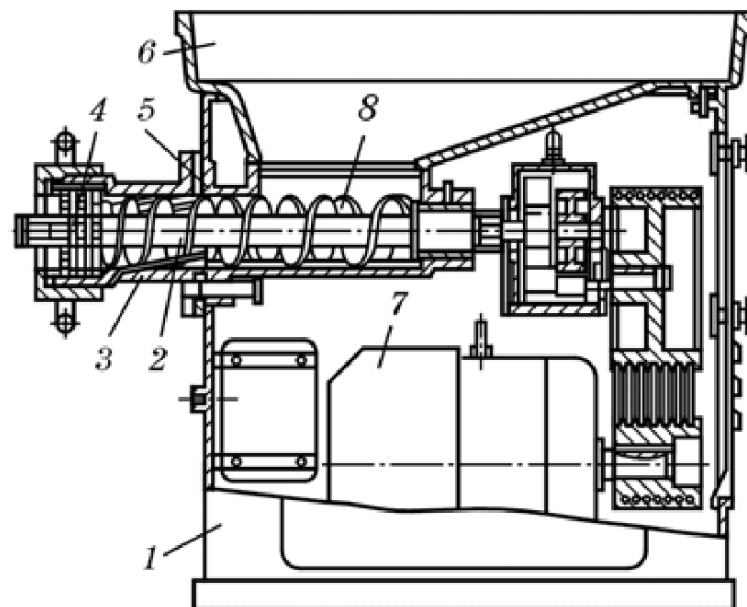


Рис. 1.5. М'ясорубка типу «вовчок» з примусовою подачею сировини: 1 – основа; 2 – шнек основний; 3 – циліндричний корпус шнека; 4 – механізм подрібнювальний; 5 – корпус; 6 – зона приймача; 7 – електродвигун приводу; 8 – спіральний додатковий шнек. [10]

Як видно із рис. 1.5. робочий гвинтовий орган має відмінну конструкцію від попередньої машини та може мати різне виконання (рис. 1.6).

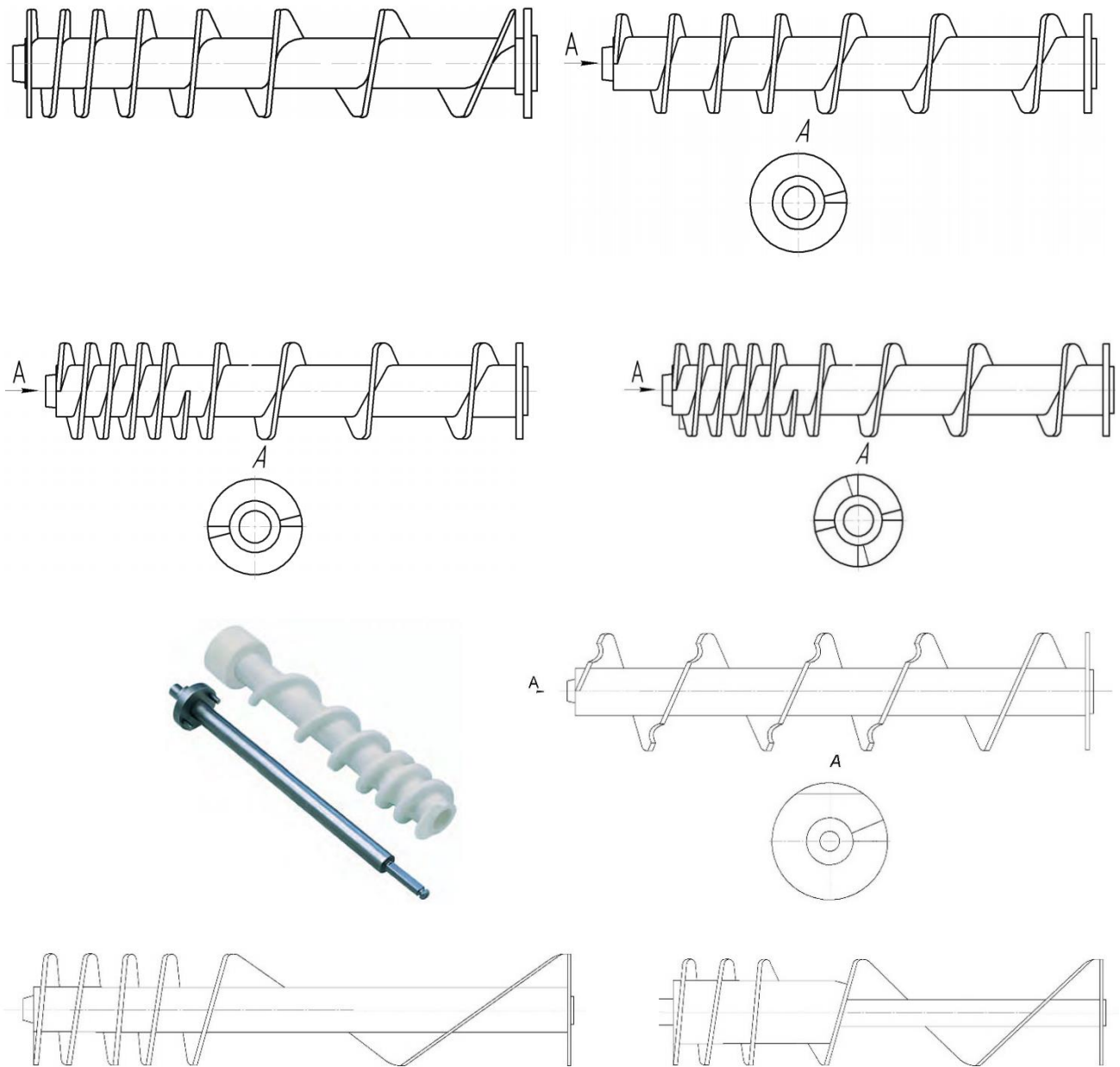


Рис. 1.6. Конструкційні особливості гвинтових робочих органів подрібнювачів типу «вовчок». [13-14]

Використання подрібнювачів м'яса типу «вовчок» із додатковим спіральним шнеком (див. рис. 1.5) дозволяє покращити процес подавання сировини до основного шнека. В цілому таке рішення дозволяє підвищити ефективність технологічного процесу.

Заслуговує на увагу рішення з використання спірального подаючого пристрою виготовленого із двох складових частин. Це дуже зручно, особливо при інтенсивному абразивному спрацювання поверхні.

1.3. Висновки до розділу 1

1. Аналіз технічних засобів подрібнення м'яса вказав на велику різноманітність способів реалізації процесу. В першу чергу це стосується системи подачі та здрібнення. Використання різноманітних схем вказує на пошук можливого раціонального рішення. такого типу подачі не дає можливості встановлення раціонального рішення.

2. Зважаючи на множину технічних рішень не вирішеним залишається питання підвищення продуктивності здрібнювачів м'яса типу «вовчок» за рахунок інтенсифікації подачі та збільшення періоду використання різального механізму до чергової заміни.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА М'ЯСА

2.1. Встановлення напрямів удосконалення здрібнювача типу «ВОВЧОК»

До здрібнювального пристрою, який має склад із протирізальних пластин з отворами різного діаметра та ножів з різною кількістю робочих поверхонь (від 4 до 8) продукт для переробки подається за допомогою гвинтового робочого органу. Попередні дослідження [13, 15] вказують на можливість покращити режими подачі сировини. З цією метою проведемо дослідження елементарної ділянки закінчення гвинта (рис. 2.1).

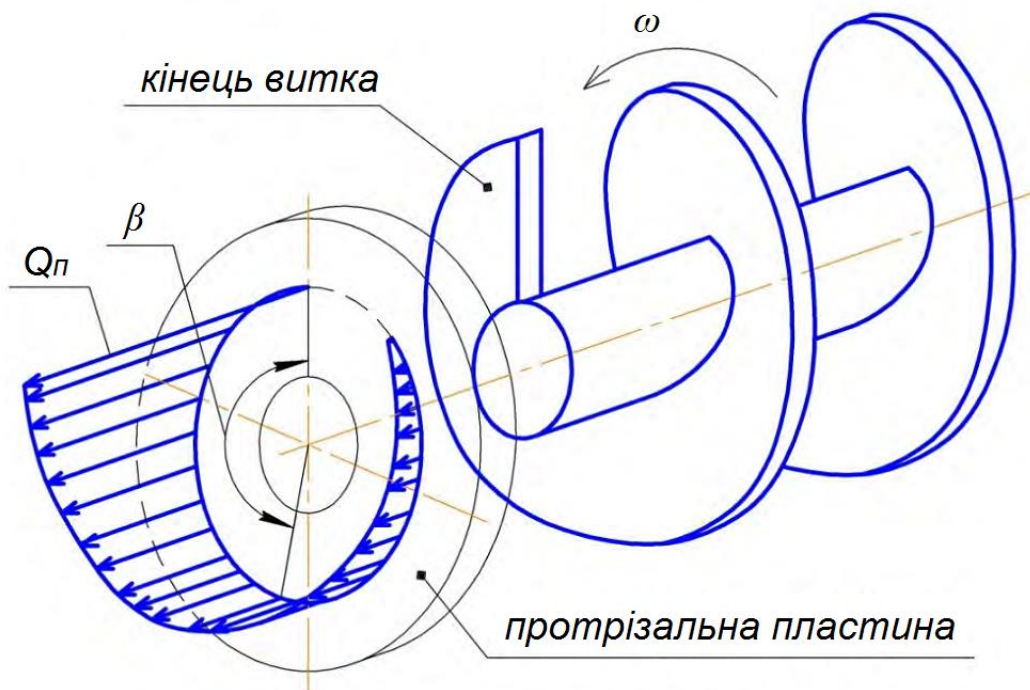


Рис. 2.1. Схема інтенсивності руху здрібненого продукту від дії гвинтового робочого механізму

Відповідно до рис. 2.1, здрібнений продукт виходить через отвори протирізальної пластини нерівномірно по її площині. Найбільш інтенсивний рух спостерігається в зоні закінчення витка гвинта. Тобто, продукт виходить

через отвори в певній ділянці окресленій кутовим значенням β . У зв'язку із цим будемо мати кінцеву продуктивність яка не відповідає максимально-можливій. Нерівномірний вплив ножів на продукт може викликати нерівномірне спрацювання робочих поверхонь, що призведе до погіршення якості отриманого кінцевого продукту. Окрім цього, ножі різального апарата не будуть задіяні повністю (рис. 2.2).

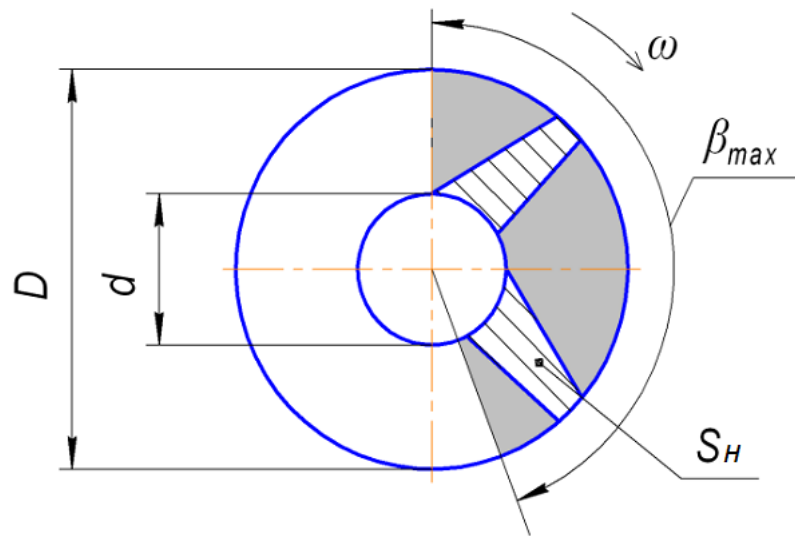


Рис. 2.2. Схема розрахунку до визначення коефіцієнта перекриття

Схема на рис. 2.2 пояснює втрати продуктивності із-за неповного використання перерізу перфорованої протирізальної пластини. Тому, продуктивність здрібнювача із гвинтовим робочим подаючим органом буде визначатись з врахуванням коефіцієнта перекриття, значення якого можна встановити як:

$$K_k = \frac{\beta_{max}}{360}, \quad (2.1)$$

де β_{max} – кут максимального охоплення зайнятої продуктом корисної площі кінцевого витка гвинта, град.

Кут максимального охоплення і є зоною виходу готового здрібненого продукту. Із рис. 2.2 видно, що цей кут менший за 50 %, представляє собою

різницю між площею протирізальної пластини зайнятої продуктом до загальної площі поперечного перерізу перфорованої протирізальної пластини. З врахуванням площі яку займають боковини ножів та площі зайнятих продуктом отворів, дотримуючись рекомендацій [15-19], отримали рівняння для встановлення максимального значення цього кута β_{max} :

$$\beta_{max} = 360 - \left[\theta_e \left(\frac{1-\varphi}{\varphi} \right) + \theta_n + \frac{q_1}{k_1} e^{\frac{4fk_1B}{d_1}} - \frac{q_1}{k_1} \right] \left(\frac{\varphi k_2 h_1}{E h_2} \right), \quad (2.2)$$

де θ_e – передача тиску при обході отворів пластини сировиною, Па;

θ_n – передача тиску при зрізі під час руху сировини через отвори решітки, Па;

φ – коефіцієнт який враховує зайняту процесом поверхню пластини;

q_1 – тиск на бокові поверхні залишковий, Па;

k_1 – коефіцієнт тиску на бокові поверхні залишковий, Па;

f – коефіцієнт який враховує тертя при русі сировини;

B – товщина протирізальної пластини з отворами, м;

d_1 – розмір отвору в протирізальній пластині, м

k_2 – коефіцієнт впливу відстані між протирізальними пластинами та потовщення ножа;

h_1 – просторовий крок гвинта зайнятого процесом подачі, м;

h_2 – просторовий крок гвинта який відповідає максимальному його використанню, м;

E – пружність сировини під час її стискання, Па.

На основі отриманого аналітичного рівняння (2.2) побудуємо графічні залежності для оцінки впливу досліджуваних параметрів на величину кута охоплення для різної м'ясної сировини (рис. 2.3-2.4).

Відповідно до аналізу графічних залежностей на рис. 2.3, можна зробити висновок про збільшення величини кута охоплення (β) зі збільшенням коефіцієнта (φ) не залежно від типу сировини.

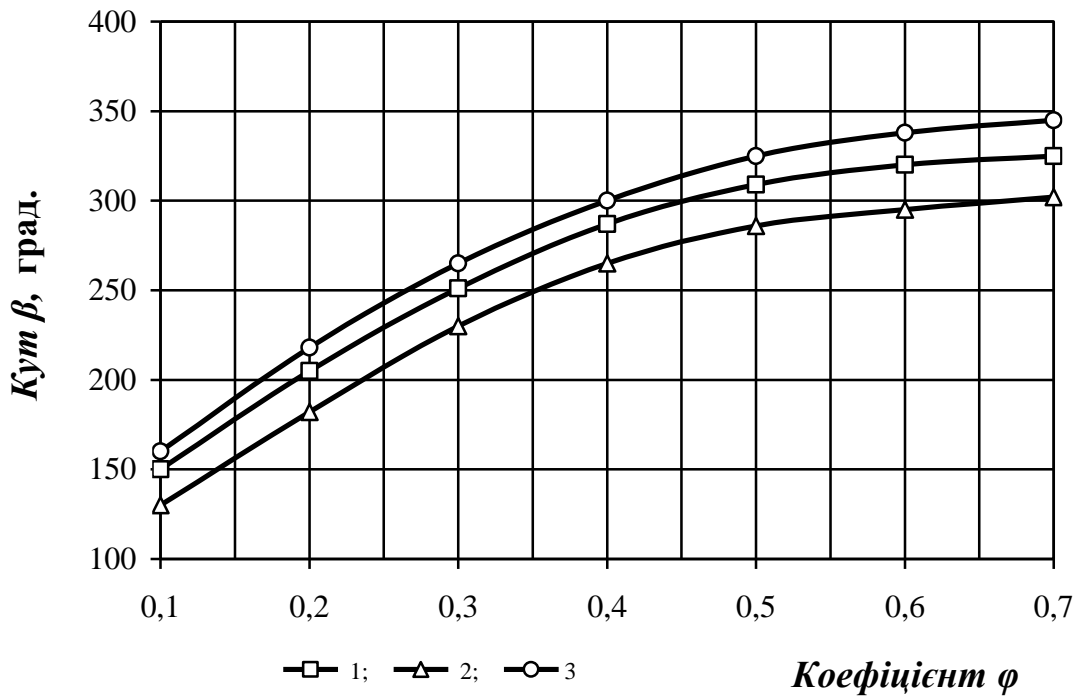


Рис. 2.3. Залежність значення кута охоплення (β) від коефіцієнта використання корисної площі (ϕ) перфорованої протирізальної пластини за умови здрібнення: 1 – м'яса яловичини; 2 – м'яса свинини; 3 – м'яса курей.

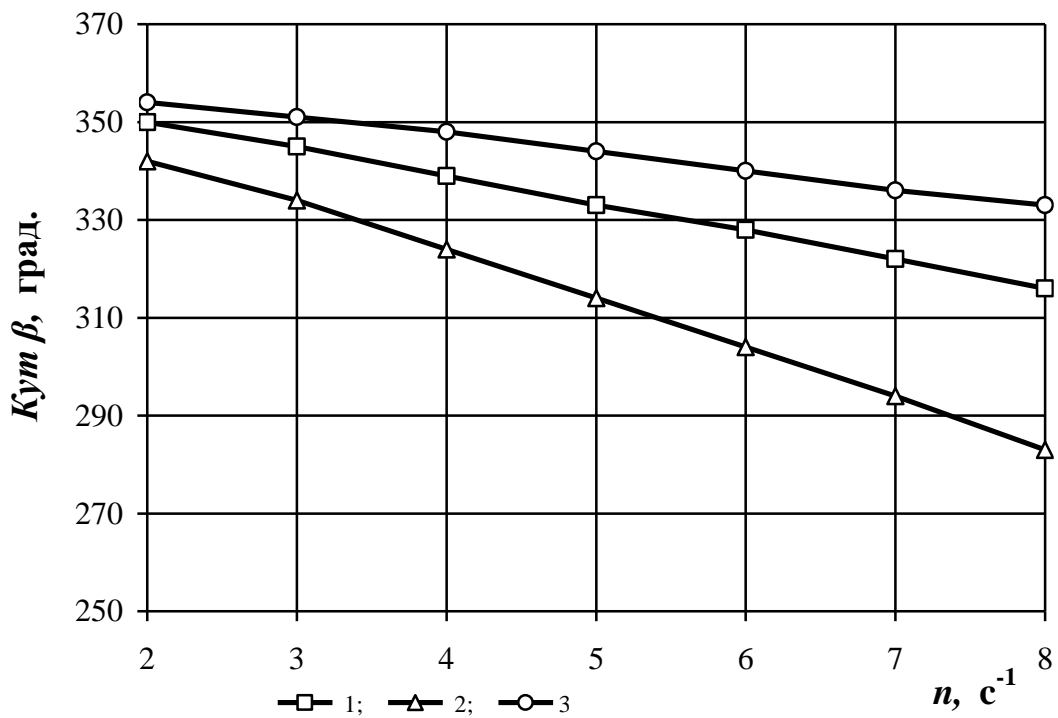


Рис. 2.4. Залежність значення кута охоплення (β) від частоти обертання гвинта (n) за умови здрібнення: 1 – м'яса яловичини; 2 – м'яса свинини; 3 – м'яса курей.

Проте кут охоплення (див. рис. 2.3) має вище значення для м'яса курей порівняно із м'ясом свинини чи яловичини. Так, при збільшенні коефіцієнта використання корисної площі перфорованої протирізальної пластини від 0,1 до 0,7 кут охоплення для м'яса курей на 10-20° більший порівняно із м'ясом свинини, для якого значення кута β найменше.

Зрозуміло, що з конструкційних причин значення коефіцієнта φ не може бути рівним одиниці, оскільки в такому випадку протирізальна пластина була б у вигляді наскрізного одного отвору. Тобто, значення коефіцієнта $\varphi=0,7$ означає що 70 % поверхні протирізальної пластини це площа отворів для проходження здрібненого продукту.

Аналіз графічних залежностей на рис. 2.4 вказує на зниження кута охоплення (β) при збільшенні частоти обертання (n) гвинтового подаючого механізму незалежно від виду здрібнюваної сировини. Причому ступінь зменшення кута β для м'яса свинини вищий порівняно із м'ясом яловичини та курей. Менше впливу швидкості піддається м'ясо курей. Проте зниження величини кута обхвату при збільшенні частоти обертання можна пояснити зростанням інтенсивності зусиль опору проштовхування продукту що спричиняє скупчення його у меншому діапазоні прохідності. Це може бути завадою щодо збільшення продуктивності здрібнювача, яка залежить від інтенсивності подачі сировини.

Визначити коефіцієнт перекриття з врахуванням розглянутих передумов та рівняння (2.2) можна за виразом та характеризується графічними залежностями (рис. 2.5-2.6):

$$K_k = \frac{S_{n.a}}{S_n} = \frac{\beta_{max}}{360} - \frac{4 \cdot S_{n.a} \cdot n_{n.a}}{\varphi \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2)}, \quad (2.3)$$

де $S_{n.a}$ – площа задіяних поверхонь ножів в межах кута β , м²;

D – діаметр зовні гвинта, м;

d – діаметр вала гвинта, м;

n – частота обертання вала гвинта, с⁻¹;

$S_{n.a}$ – площа задіяних поверхонь протирізальної пластини з отворами в зоні кута β , м²;

S_n – загальна площа поверхні протирізальної пластини з отворами, м².

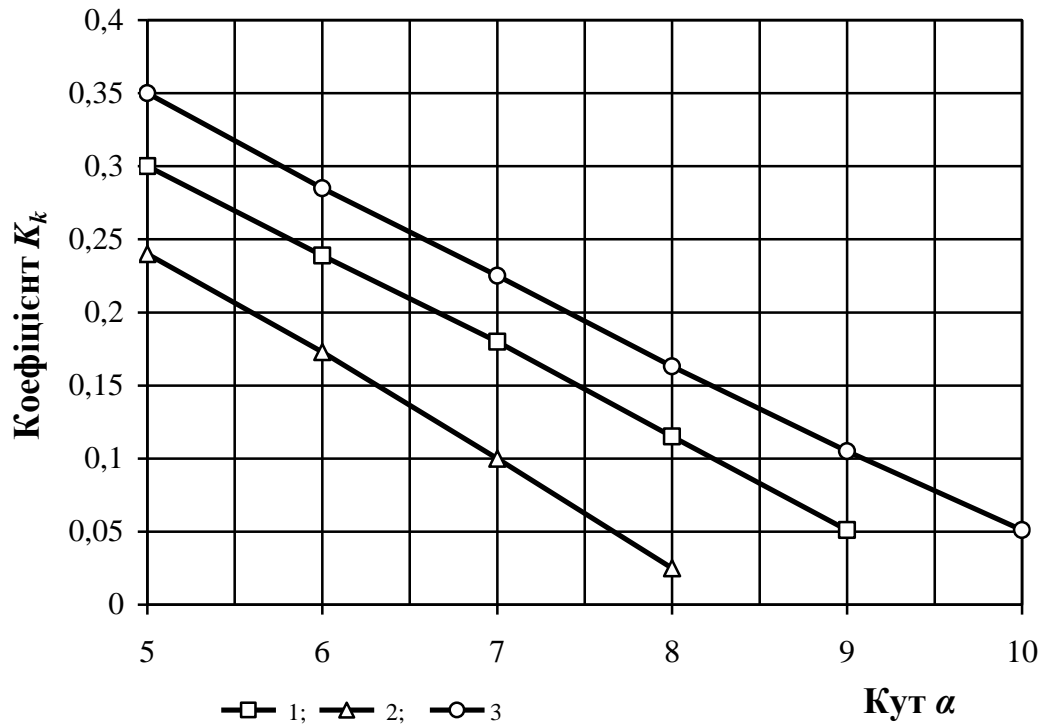


Рис. 2.5. Залежність коефіцієнт перекриття (K_k) від кута витка гвинта (α) за умови здрібнення: 1 – м'яса яловичини; 2 – м'яса свинини; 3 – м'яса курей.

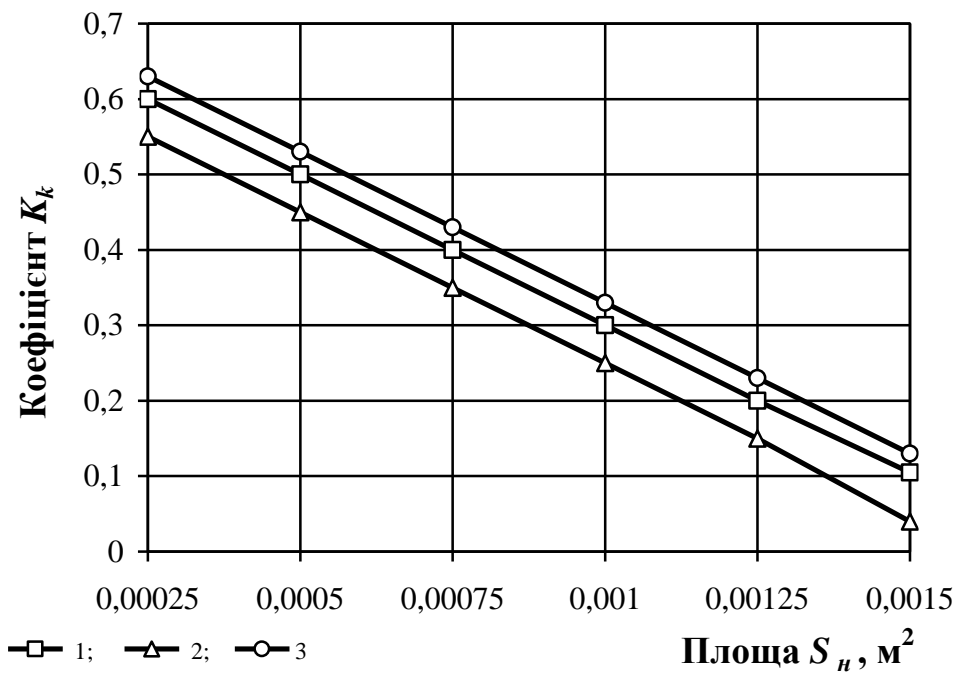


Рис. 2.6. Залежність коефіцієнт перекриття (K_k) від площі поверхонь ножів (S_n) за умови здрібнення: 1 – м'яса яловичини; 2 – м'яса свинини; 3 – м'яса курей.

Відповідно до графічних залежностей (рис. 2.5-2.6) можна зробити висновок, щодо впливу геометричних параметрів подавально-здрібнюючого механізму на коефіцієнт перекриття. Так, зі збільшенням кута витка (α) гвинтового подаючого органу коефіцієнт перекриття (K_k) зменшується. Найменше значення кута перекриття отримуємо для м'яса свинини, а найбільше для м'яса курей. Так, при збільшенні кута α від 5 до 8°, коефіцієнт перекриття зменшується від 0,24 до 0,025, тобто на порядок, а це вказує на майже повну зупинку продукування готового продукту. Це можна пояснити тим, що більший кут не дає достатніх зусиль проштовхування продукту через отвори протирізальної пластини на кінцевій поверхні витка гвинта, яка максимально віддалена від отворів пластини. Для м'яса яловичини отримуємо середнє значення.

За умови збільшення площі поверхні ножів в межах кута β , коефіцієнт перекриття (K_k) зменшується за лінійним законом. Це можна пояснити тим, що зі збільшенням площі ножів у зоні виходу готового продукту, зменшується площа вільних отворів у протирізальній пластині. Відмінності між видами сировини мінімальні.

2.2. Встановлення умов збільшення продуктивності подрібнювача типу «вовчок»

Пропускна спроможність подрібнювача типу «вовчок» залежить від багатьох факторів. В першу чергу це стосується геометричних, кінематичних та технологічних параметрів (рис. 2.7). [19-20]

В загальному пропускну спроможність здрібнювача типу «вовчок» можна визначити як, кг/с:

$$G_v = K_k (Q_1 - Q_2 - Q_3) \rho_p, \quad (2.4)$$

де Q_1 – подача продукту в осьовому напрямку через отвори протирізальної пластини, м³/с;

Q_2 – подача продукту в зворотному осьовому напрямку від отворів протирізальної пластини, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_3 – подача продукту в зворотному осьовому напрямку від отворів протирізальної пластини через гвинтові нарізи на внутрішній поверхні корпуса гвинта, $\text{м}^3/\text{с}$;

ρ_p – об'ємна маса сировини, $\text{кг}/\text{м}^3$.

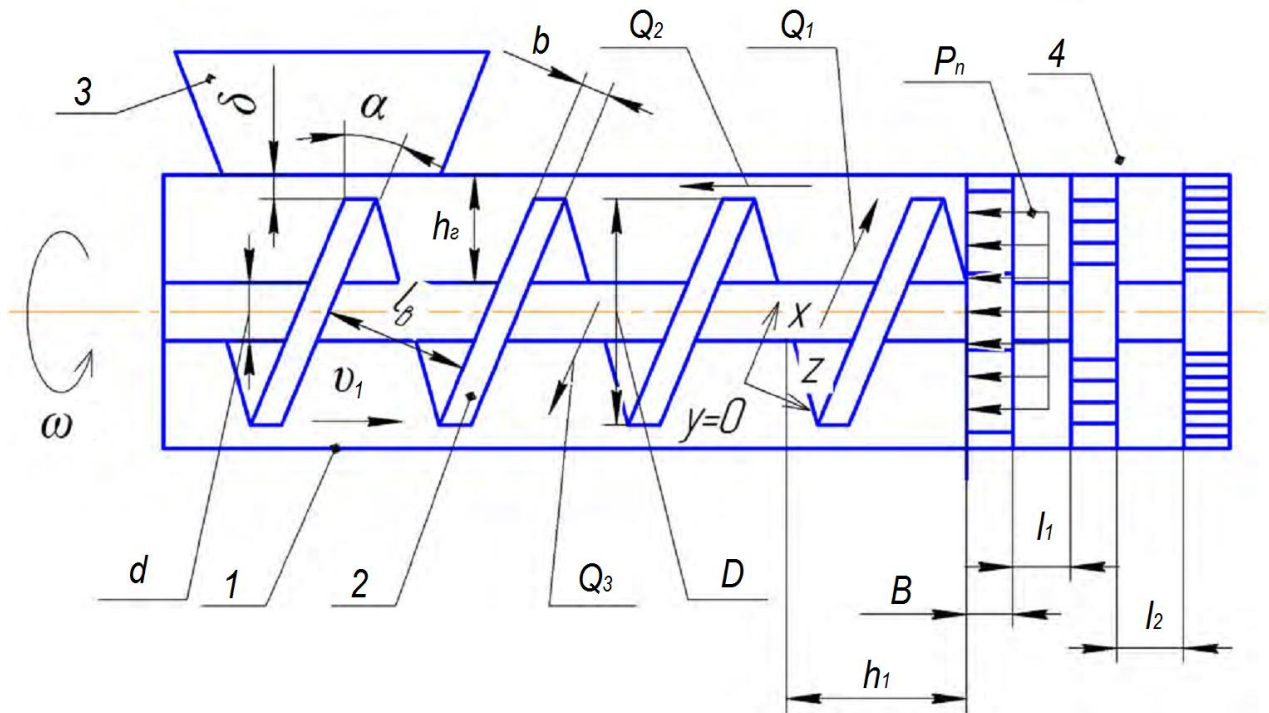


Рис. 2.7. Схема до пояснення втрати продуктивності здрібнювача типу «вовчок»: 1 – корпус гвинта; 2 – гвинт; 3 – завантажувальна горловина; 4 – механізм різальний.

Відповідно до схеми на рис. 2.7 та рекомендацій [15-19] встановимо залежності для визначення складових подачі рівняння (2.4):

- подача продукту в осьовому напрямку:

$$Q_1 = \frac{\pi^2 D^2 n h_2 \sin \alpha \cos \alpha}{2}, \quad (2.5)$$

- подача продукту в зворотному осьовому напрямку:

$$Q_2 = \frac{\pi D h_2^3 \sin^2 \alpha \cos \alpha}{12 \chi} \cdot \frac{p_k - p_n}{l_{1-2}}, \quad (2.6)$$

- подача продукту в зворотному напрямку через гвинтові нарізи:

$$Q_3 = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3}{12 \chi b} \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{p_k - p_n}{l_{1-2}}, \quad (2.7)$$

де h_2 – заглибина витків гвинта, м;

δ – зазор між гвинтом та корпусом гвинта, м;

b – товщина гвинта витка, м;

$p_k - p_n$ – різниця між значеннями кінцевого та початкового тиску на ділянках l_1 та l_2 , Па;

χ – в'язкісні властивості сировини, Па \times с.

Отримані аналітичні залежності дозволять теоретично визначити складові пропускнує спроможності здрібнювача м'яса типу «вовчок». На основі вивчення результатів теоретичних досліджень можна намітити основні шляхи підвищення ефективності подрібнювачів вказаного типу.

2.3. Висновки до розділу 2

1. Встановлено вплив геометричних параметрів подавально-здрібнюючого механізму на коефіцієнт перекриття. Доведено, що зі збільшенням кута нахилу витка (α) подаючого гвинта коефіцієнт перекриття (K_k) зменшується. При збільшенні кута α від 5 до 8°, коефіцієнт перекриття зменшується від 0,24 до 0,025, що може вказувати на майже повну зупинку продукування готового продукту.

2. Отримано аналітичні залежності для визначення пропускнує спроможності здрібнювача м'яса типу «вовчок» за умови змінної геометрії робочих органів та кінематичних параметрів роботи.

РОЗДІЛ 3

ВСТАНОВЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА ТИПУ «ВОВЧОК»

3.1. Визначення впливу технологічних параметрів на продуктивність здрібнювача типу «вовчок»

Для визначення впливу конструкційно-технологічних параметрів здрібнювача типу «вовчок» на пропускну спроможність провели дослідження. За результатами досліджень отримали дослідні дані, які відобразили у вигляді графічних залежностей на рис. 31.-3.3.

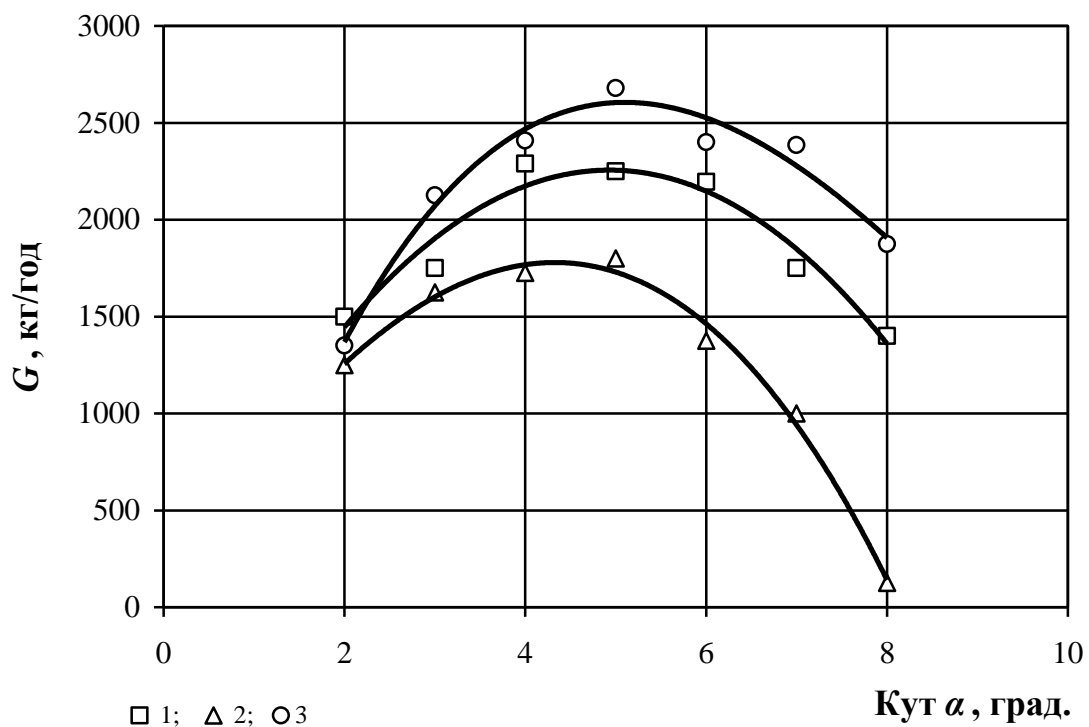


Рис. 3.1. Залежність пропускну спроможності (G) від кута нахилу витка гвинта (α) за умови здрібнення: 1 – м'яса яловичини; 2 – м'яса свинини; 3 – м'яса курей.

При збільшенні кута (α) нахилу витка гвинта від 2 до 5° (рис. 3.1) зростає пропускну спроможність (G) здрібнювача для усіх досліджуваних типів м'яса. Для м'яса курей пропускну спроможність зростає більш інтенсивно – на 98,5 %,

для м'яса яловичини отримуємо проміжне значення – зростання на 50 %, а для м'яса свиней спостерігається найменша інтенсивність зростання – лише на 42 %. Для м'яса свиней отримуємо і найменший рівень продуктивності при значенні кута $\alpha=5^\circ$, порівняно із м'ясом яловичини менше на 25 %, а порівняно із м'ясом курей – на 49 %. Пояснити таку різницю можна особливостями внутрішньої структури м'яса свиней.

Починаючи від $\alpha=5^\circ$ до $\alpha=8^\circ$, пропускна спроможність знижується незалежно від типу сировини. Найбільш стрімке зниження пропускної спроможності спостерігається для м'яса свинини, для якої зниження складає 1,25 т/год при максимальній спроможності здрібнювача – 1,8 т/год. Для м'яса яловичини та курей при максимальному куті до $\alpha=8^\circ$ пропускна спроможність, порівняно із $\alpha=5^\circ$ знижується на 60,7 % та 42,9 % відповідно.

Але, незалежно від типу сировини, раціональним кутом нахилу витка гвинта можна вважати кут в межах $\alpha=4-5^\circ$.

Отримали рівняння регресії які пов'язують геометричні параметри гвинтового подавального органу із пропускною спроможністю здрібнювача:

- для м'яса свиней:

$$G_c = 128,57 - 4,167\alpha^3 - 52,083\alpha^2 + 684,82\alpha, \quad (3.1)$$

- для м'яса яловичини:

$$G_j = -0,139\alpha^3 - 92,613\alpha^2 + 923,47\alpha - 29,286, \quad (3.2)$$

- для м'яса курей:

$$G_k = 7,611\alpha^3 - 221,57\alpha^2 + 1666,1\alpha - 1138,1, \quad (3.3)$$

Коефіцієнти детермінації становлять досить великі значення (для м'яса свиней $R^2=0,9907$, для м'яса яловичини $R^2=0,9338$, для м'яса курей $R^2=0,9654$), що вказує на існуючий взаємозв'язок досліджуваних факторів.

Проведені дослідження впливу частоти обертання гвинта на пропускну спроможність подрібнювача типу «вовчок» дозволила отримати рівняння регресії (3.4-3.6) та графічні залежності (рис. 3.2)

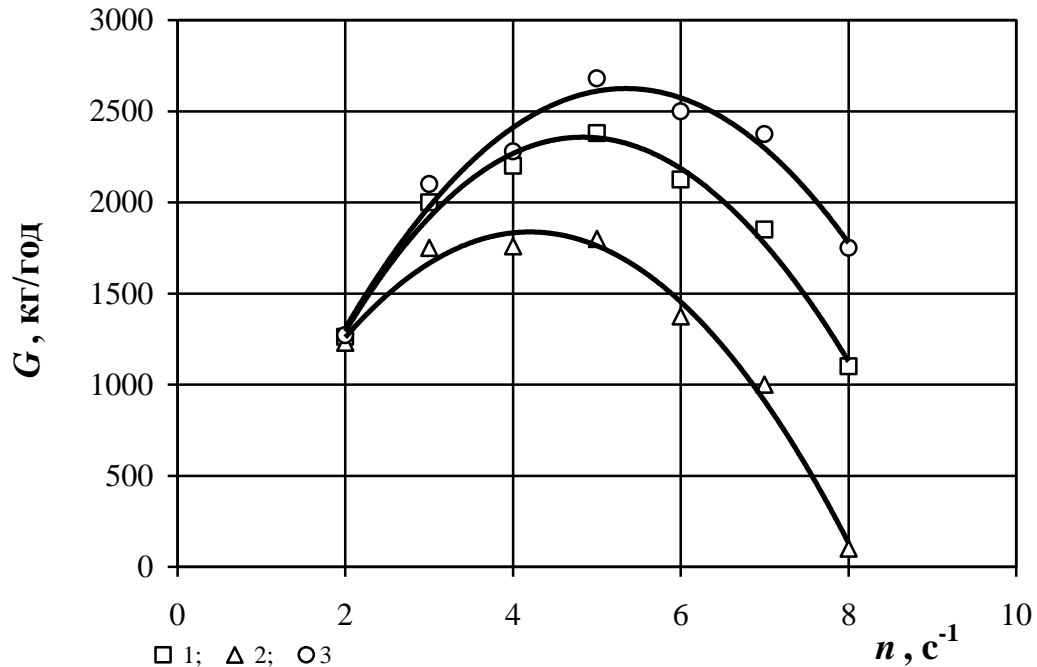


Рис. 3.2. Залежність пропускної спроможності (G) від частоти обертання гвинта (n) за умови здрібнення: 1 – м'яса яловичини; 2 – м'яса свинини; 3 – м'яса курей.

Відповідно до графічних залежностей на рис. 3.2, пропускна спроможність збільшується при збільшенні частоти обертання вала гвинта від 2 до 5 с^{-1} . При подальшому збільшенні частоти обертання вала гвинта від 5 до 8 с^{-1} пропускна спроможність (G) зменшується незалежно від виду перероблюваного матеріалу. Причому, інтенсивність приросту пропускної спроможності, в діапазоні швидкостей обертання 2-5 об/с, найбільша для м'яса курей – збільшується у 2,1 рази. Найменше значення приросту пропускної спроможності при збільшенні частоти обертання вала гвинта до 5 с^{-1} спостерігається для м'яса свинини – лише на 46 %. Пропускна спроможність для м'яса яловичини займає проміжне положення, приріст становить 88 %.

Зворотній процес спостерігається при збільшенні частоти обертання вала гвинта від 5 до 8 с^{-1} . Для м'яса свиней спостерігається найбільша інтенсивність

зниження пропускної спроможності подрібнювача, аж до 100 кг/год, що можна вважати зупинкою процесу. За умови частоти обертання $n=8 \text{ с}^{-1}$ для м'яса яловичини пропускна спроможність знижується у 2,1 рази, а для м'яса курей – на 53 %. Таким чином, частота обертання вала гвинтового подавального механізму має суттєвий вплив на пропускну спроможність здрібнювача м'яса типу «вовчок». Зниження пропускної спроможності здрібнювача при збільшенні частоти обертання гвинта можна пояснити збільшенням опору на проходження продукту через отвори у протирізальній пластині. В такому випадку збільшується зворотний рух продукту, оскільки подача сировини зберігається, а прохід зменшується. Таке явище є негативним та потребує кваліфікованого вирішення.

З врахуванням виконаного аналізу графічних залежностей, для досліджуваних типів сировини оптимальною можна вважати частоту обертання вала гвинта на рівні $n=4-5 \text{ с}^{-1}$.

Отримані рівняння регресії мають вид:

- для м'яса свиней:

$$G_c = 0,1667n^3 - 121,01n^2 + 1008n - 273,43, \quad (3.4)$$

- для м'яса яловичини:

$$G_j = 1,75n^3 - 153,45n^2 + 1360,3n - 829,71, \quad (3.5)$$

- для м'яса курей:

$$G_k = -0,4167n^3 - 112,32n^2 + 1236,3n - 710,71, \quad (3.6)$$

Коефіцієнти детермінації становлять досить великі значення (для м'яса свиней $R^2=0,9863$, для м'яса яловичини $R^2=0,9835$, для м'яса курей $R^2=0,9637$), що вказує на існуючий взаємозв'язок досліджуваних факторів.

На зусилля проштовхування продукту через отвори протирізальної пластини впливає її товщина. За результатами досліджень отримали рівняння регресії (3.7-3.9) та графічні залежності (рис. 3.3) впливу товщини

протиризальної пластини на пропускну спроможність здрібнювача типу «ВОВЧОК».

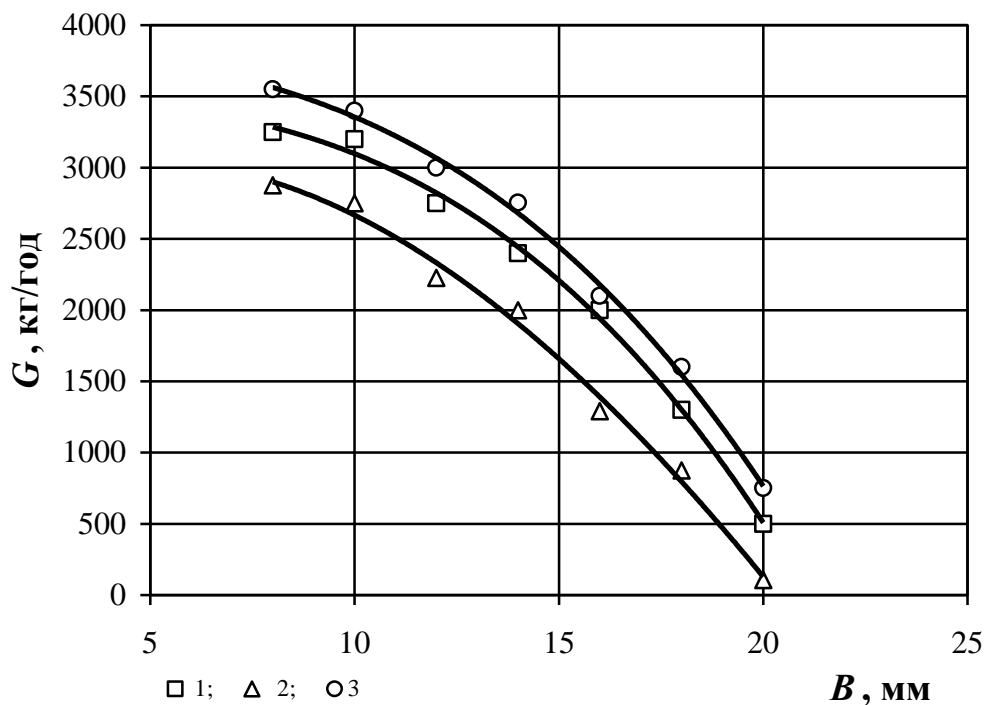


Рис. 3.3. Залежність пропускної спроможності подрібнювача (G) від товщини протиризальної пластини (B) за умови здрібнення: 1 – м'яса яловичини; 2 – м'яса свинини; 3 – м'яса курей.

За умови збільшення товщини протиризальної пластини (рис. 3.3) від 8 до 20 мм інтенсивно зменшується пропускну спроможність здрібнювача незалежно від виду м'яса, яке потрібно здрібнити. Це можна пояснити збільшенням опору проходження продукту через отвори протиризальної пластини. З графічних залежностей чітко прослідковується, що м'ясо свинини може мати вищий опір на подолання отворів. Саме це є поясненням значної втрати пропускної спроможності майже до 100 кг/год, порівняно із м'ясом курей та м'ясом яловичини де мінімальна пропускну спроможність на рівні 500-750 кг/год зберігається навіть при товщині пластини 20 мм.

З врахуванням межі міцності матеріалу, варто приймати протиризальну пластину із мінімальною товщиною, в нашому випадку раціональною величиною вважається значення $B=8$ мм.

Отримані рівняння регресії мають вид:

- для м'яса свиней:

$$G_c = 0,1389B^3 - 16,682B^2 + 149,47B + 2700,8, \quad (3.7)$$

- для м'яса яловичини:

$$G_c = -0,3472B^3 - 0,5952B^2 + 1,9841B + 3484,5, \quad (3.8)$$

- для м'яса курей:

$$G_k = -0,3472B^3 + 0,2381B^2 - 23,135B + 3910,2, \quad (3.9)$$

Коефіцієнти детермінації становлять досить великі значення (для м'яса свиней $R^2=0,9928$, для м'яса яловичини $R^2=0,9964$, для м'яса курей $R^2=0,9965$), що вказує на існуючий взаємозв'язок досліджуваних факторів.

3.2. Встановлення ефективності конструкційних рішень удосконаленого подрібнювача м'яса типу «вовчок»

За результатами проведених досліджень з врахуванням аналітичних розрахунків виконаних у кваліфікаційній роботі пропонується удосконалена конструкція подрібнювача м'ясної сировини типу «вовчок» (рис. 3.4). [21]

Запропонована конструкція має ряд переваг перед серійними подрібнювачами із аналогічними енергетичними показниками. Так, забезпечується збільшення технологічної продуктивності за рахунок використання елемента додаткового подрібнення. Завдяки новій конструкції приводу та додаткового до подрібнювального пристосування, можна отримувати змінні режими роботи, зокрема кінематичні, без операцій пов'язаних із зупинкою подрібнювача, тобто це відбувається безступінчасто. Оскільки покращено процес подрібнення за рахунок удосконалення робочих органів досягається підвищений ресурс роботи робочих органів, що позитивно

впливає на зниження експлуатаційних витрат. Окрім цього краще здрібнюється тканина сполучна та жили. [21]

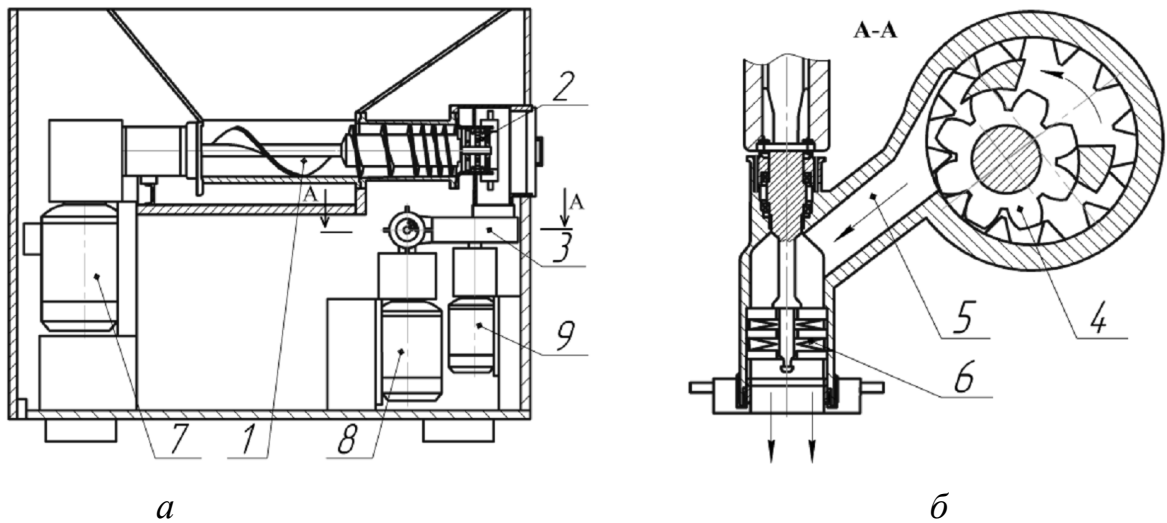


Рис. 3.4. Схема функціональна удосконаленого здрібнювача: *a* – схема будови; *б* – додатковий здрібнювач; 1 – гвинт подаючий; 2 – різальний пристрій першого ступеня здрібнення; 3 – корпус додаткового до здрібнення; 4 – насос подачі фаршу; 5 – канал подачі; 6 – здрібнюючі ножі; 7, 8, 9 – електродвигуни. [21]

Покращений за рахунок спрощення варіант удосконаленого здрібнювача пропонується на рис. 3.5. [21]

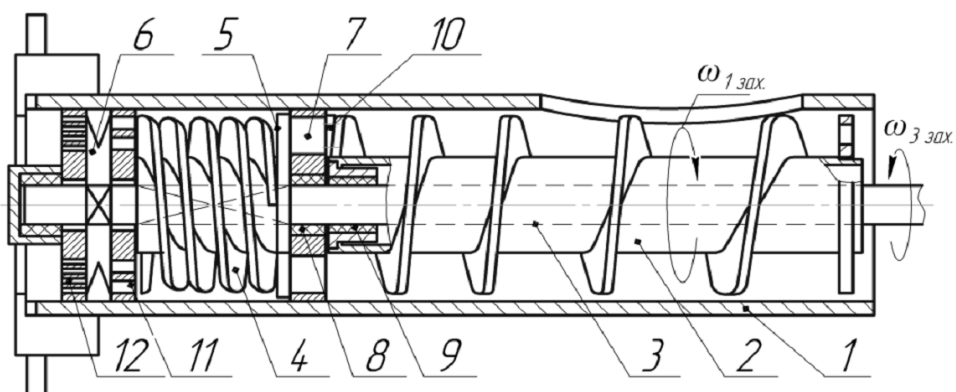


Рис. 3.5. Структурна здрібнювально-подаючого механізму: 1 – корпус; 2 – гвинт подаючий; 3 – приводний вал; 4 – гвинт багатозахідний; 5 – ніж першого здрібнення; 6 – ніж другого здрібнення; 7 – пластина з отворами; 8, 9 – підшипники; 10 – кінець витка гвинта; 11, 12 – пластина проміжна та кінцева.

Запропонована конструкція увібрала у собі позитивні сторони пристрою додаткового до здрібнення, але при цьому збереглися габаритні розміри прототипу, що спрощує її застосування. Розроблена конструкція подаючого механізму у вигляді двох співвісних гвинтів дозволить збільшити пропускну спроможність за рахунок подачі сировини до всієї площини протирізальної пластини з отворами. Завдяки цьому пропускна спроможність може зрости вдвічі за аналогічних геометричних та кінематичних параметрах.

3.3. Висновки до розділу 3

1. Встановили вплив конструкційно-технологічних параметрів здрібнювача типу «вовчок» на пропускну спроможність. Встановили, що при збільшенні кута нахилу витка гвинта від 2 до 5° зростає пропускна спроможність здрібнювача для усіх досліджуваних типів м'яса, а збільшенні кута від $\alpha=5^\circ$ до $\alpha=8^\circ$, пропускна спроможність знижується незалежно від типу сировини. Доведено, що незалежно від типу сировини, раціональним кутом нахилу витка гвинта можна вважати кут в межах $\alpha=4-5^\circ$.

2. Встановили, що частота обертання вала гвинтового подавального механізму має суттєвий вплив на пропускну спроможність здрібнювача м'яса типу «вовчок». Довели, що пропускна спроможність збільшується при збільшенні частоти обертання вала гвинта від 2 до 5 с^{-1} , але при подальшому збільшенні частоти обертання вала гвинта від 5 до 8 с^{-1} пропускна спроможність зменшується незалежно від виду перероблюваного матеріалу. Таким чином, для досліджуваних типів сировини оптимальною можна вважати частоту обертання вала гвинта на рівні $n=4-5 \text{с}^{-1}$.

3. Встановили, що за умови збільшення товщини протирізальної пластини від 8 до 20 мм інтенсивно зменшується пропускна спроможність здрібнювача, не залежно від виду м'яса. Оптимальною, відповідно до досліджень, вважається товщина пластини на рівні 8 мм.

ВИСНОВКИ

1. Оцінка технічних засобів подрібнення м'яса вказав на велику різноманітність способів реалізації процесу. В першу чергу це стосується системи подачі та здрібнення. Зважаючи на множину технічних рішень не вирішеним залишається питання підвищення ефективності здрібнювачів м'яса типу «вовчок» за рахунок інтенсифікації подачі та збільшення періоду використання різального механізму до чергової заміни.

2. Проведені дослідження впливу геометричних параметрів подавально-здрібнюючого механізму на коефіцієнт перекриття вказали, що зі збільшенням кута нахилу витка подаючого гвинта коефіцієнт перекриття зменшується. Встановлено, що зі збільшенням кута нахилу витка від 5 до 8°, коефіцієнт перекриття робочої зменшується від 0,24 до 0,025, що може вказувати на майже повну зупинку продукування готового продукту. Отримано аналітичні залежності для визначення пропускної спроможності здрібнювача м'яса типу «вовчок» за умови змінної геометрії робочих органів та кінематичних параметрів функціонування.

3. Встановлено, що при збільшенні частоти обертання гвинтового подаючого механізму відбувається зменшення кута охоплення незалежно від виду здрібнюваної сировини. Причому ступінь зменшення кута охоплення для м'яса свинини вищий порівняно із м'ясом яловичини та курей. Менше впливу швидкості обертання піддається м'ясо курей. Зниження величини кута обхвату при збільшенні частоти обертання можна пояснити зростанням інтенсивності зусиль опору проштовхування продукту що спричиняє скупчення його у меншому діапазоні прохідності. Це вказує на необхідність детального дослідження впливу кінематичних параметрів на пропускну спроможність здрібнювача типу «вовчок».

4. Дослідили вплив конструкційно-технологічних параметрів здрібнювача типу «вовчок» на пропускну спроможність. Встановили, що при збільшенні кута нахилу витка гвинта від 2 до 5° зростає пропускну спроможність здрібнювача для усіх досліджуваних типів м'яса, а при збільшенні кута від $\alpha=5^\circ$

до $\alpha=8^\circ$, пропускна спроможність знижується незалежно від типу сировини. Доведено, що незалежно від типу сировини, раціональним кутом нахилу витка гвинта можна вважати кут в межах $\alpha=4-5^\circ$.

5. Встановили, що частота обертання вала гвинтового подавального механізму має суттєвий вплив на пропускну спроможність здрібнювача м'яса типу «вовчок». Довели, що пропускна спроможність збільшується при збільшенні частоти обертання вала гвинта від 2 до 5 с^{-1} , але при подальшому збільшенні частоти обертання вала гвинта від 5 до 8 с^{-1} пропускна спроможність зменшується незалежно від виду перероблюваного матеріалу. Таким чином, для досліджуваних типів сировини оптимальною можна вважати частоту обертання вала гвинта на рівні $n=5-6 \text{ с}^{-1}$.

6. Встановили, що за умови збільшення товщини протирізальної пластини від 8 до 20 мм інтенсивно зменшується пропускна спроможність здрібнювача, не залежно від виду м'яса. Оптимальною, відповідно до досліджень, вважається товщина пластини на рівні 8 мм.

7. Розроблена конструкція подаючого механізму у вигляді двох співвісних гвинтів дозволить збільшити пропускну спроможність за рахунок подачі сировини до всієї площини перфорованої протирізальної пластини. Завдяки цьому пропускна спроможність може зрости вдвічі за аналогічних геометричних та кінематичних параметрах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія м'яса та м'ясних продуктів: підручник / М. М. Клименко, Л. Г. Віннікова, І. Г. Береза та ін.; за ред. М. М. Клименка. К.: Вища освіта, 2006. 640 с.
2. Сегеда С. А. Статистичний аналіз споживання м'яса та м'ясопродуктів в Україні. *Економіка АПК*. 2020. № 3. С. 36-46.
3. Тимощук І. М. Загальна технологія м'яса і м'ясопродуктів. Київ: Урожай, 2002. 159 с.
4. Сухенко В. Ю. Моделювання процесів подрібнення м'яса і синтез технологічних машин : монографія. Київ, 2013. 227 с.
5. Богомолова О. В. Технологія переробки продукції тваринництва; за ред. О. В. Богомолова та Ф. В. Перцевого. Харків: Вид-во навч.-метод. центру заочн. навч. с.-г. вузів України, 2001. 241 с.
6. Віннікова Л. Г. Теорія і практика переробки м'яса. Ізмаїл: СМІЛ, 2000. 172 с.
7. Технологічне обладнання для переробки продукції тваринництва : навч. посібник / за ред. О. В. Гвоздева. Суми: Довкілля, 2004. 420 с.
8. Василів В. П., Дударев І. І., Кудашев С. М. Раціональні конструкції вочків для інтенсифікації процесу подрібнення м'яса. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2012р. Вип. 63. С. 32–43
9. Загальні технології харчової промисловості: навчальний посібник / Ф. В. Перцевий та ін. Х. : СНАУ, 2021. 317 с.
10. Хомика Н. І., Олекик В.П., Цьонис О. П. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції : курс лекцій. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2016. 288 с.
11. Можарівський І. В. Класифікаційні ознаки подрібнювачів м'ясної сировини типу «вовчок». *Студентські читання–2023* : матеріали науково-практичної конференції. 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 222–224.

12. М'ясорубка-вовчок К7-ФВП-160-01 : веб-сайт. URL : <https://poltavamash.com/ua/component/jshopping/product/view/13/13?Itemid=198>
13. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: підруч./ І. С. Гулий та ін.; за ред. І. С. Гулого. Вінниця: Нова книга, 2001. 576 с.
14. Червко О. І., Попречний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник. Х.: Світ Книг, 2014. 495 с.
15. Мікулонок І. О. Механічні, гідромеханічні і масо-обмінні процеси та обладнання хімічної технології : підруч. К.: НТУУ «КПІ», 2014. 340 с.
16. Бернік П. С. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва. / П. С. Бернік та ін. Львів : Львівська політехніка, 2004. 336 с.
17. Харчові технології у прикладах і задачах: підручник / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ. К.: Центр учбової літератури, 2008. 576 с.
18. Розрахунки обладнання харчових виробництв. / Ялпачик В. Ф та ін. Мелітопіль: ТДАУ, 2014. 188 с.
19. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: навч. посіб. / В. Г. Мирончук та ін. ; за ред. В. Г. Мирончук. Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
20. Медведський О. В., Можарівський І. В. Встановлення технологічних параметрів подрібнювача м'ясної сировини. *Біоенергетичні системи* : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 127–129.
21. Медведський О. В., Можарівський І. В. Розроблення конструкції подрібнювача м'ясної сировини. *Інженерні процеси та системи* : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених. 14-15 червня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 136–138.