

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**

**Кафедра безпеки життєдіяльності**

Пояснювальна записка до дипломної роботи  
на здобуття ступеня вищої освіти « магістр »

на тему: «Обґрунтування оптимальних параметрів подрібнення м'ясної сировини в подрібнювачах з хрестоподібним ножом»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «магістр» групи 3  
Шибка В.О.

Керівник: Костенко О.М.

Рецензент: Ляшенко С.В.

**Полтава – 2021 року**

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 60 сторінок, 36 рисунків, 8 таблиць, 2 додатки, 26 джерел.

Об'єктом досліджень є подрібнювач з хрестоподібним ножем.

Предмет досліджень - закономірності процесу подрібнення м'ясної сировини у подрібнювачах із хрестоподібним ножем.

Метою роботи є підвищення енергоефективності процесу подрібнення м'ясної сировини для ковбасного виробництва.

Методи досліджень – методи аналізу та синтезу, інтерпретації отриманих результатів, моделювання, емпіричний метод.

В результаті досліджень експериментально встановлено основні закономірності процесу подрібнення м'ясної сировини у подрібнювачах з хрестоподібним ножем, що доводять енергоефективність використання лопатей хрестоподібного ножа у формі класичного клина з кутом загострення при його вершині  $\alpha$  15°; раціональні параметри подрібнення м'ясної сировини в подрібнювачі з хрестоподібним ножем; розроблено конструкцію хрестоподібного ножа із лопатями, на задніх поверхнях яких є різальні леза, розташовані по дугах концентричних кіл, який дозволяє поєднати попереднє подрібнення продукту з залишковим, що підвищує енергоефективність механізму 17,6% порівняно з ножем із лопатями у формі паралелограма.

Ступінь впровадження – результати досліджень були впроваджені в технологічному процесі переробки м'ясної сировини.

Галузь застосування – переробна галузь.

В результаті впровадження результатів дослідження у виробництво очікується річний економічний ефект 80912 грн.

М'ЯСНА СИРОВИНА, ПОДРІБНЮВАЧ, ХРЕСТОПОДІБНИЙ НІЖ ІЗ ЛОПАТЯМИ, РІЗАЛЬНІ ЛЕЗА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ПЕРФОРОВАНА РЕШІТКА, БЕЗПЕКА, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП . . . . .                                                                                                                 | 7  |
| 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ . . . . .                                                                            | 9  |
| 1.1 Технологічний процес виробництва ковбасних виробів . . . . .                                                                | 9  |
| 1.2 Огляд обладнання для подрібнення м'ясної сировини . . . . .                                                                 | 11 |
| 2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ . . . . .                                                                                | 19 |
| 2.1 Методика проведення експериментальних досліджень . . . . .                                                                  | 19 |
| 2.2 Визначення напруженого та деформованого стану<br>хрестоподібного ножа з різним кутом заточування . . . . .                  | 21 |
| 2.3 Оптимізація енерговитрат процесу подрібнення м'ясної<br>сировини в подрібнювачі по техніко-економічному показнику . . . . . | 28 |
| 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ . . . . .                                                                                               | 36 |
| 3.1 Визначення споживаної потужності з використанням<br>перфорованих решіток з комбінованими отворами . . . . .                 | 36 |
| 3.2 Визначення споживаної потужності з використанням<br>хрестоподібних ножів різної форми . . . . .                             | 38 |
| 3.3 Визначення споживаної потужності з використанням<br>хрестоподібних ножів з різальними лезами на задній поверхні . . . . .   | 39 |
| 3.4 Дослідження впливу часу експлуатації перфорованих<br>решіток на температуру в зоні різання . . . . .                        | 41 |
| 3.5 Визначення органолептичних та фізико-хімічних показників<br>якості м'ясного фаршу та ковбаси напівкопченої . . . . .        | 45 |
| 3.6 Розробка конструкції хрестоподібного ножа з лопатями<br>у формі клина . . . . .                                             | 46 |

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ                | 53 |
| 4.1 Екологічна експертиза                                           | 53 |
| 4.2 Охорона праці                                                   | 56 |
| 4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень                     | 58 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ                                                   | 61 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                                          | 62 |
| ДОДАТКИ                                                             | 64 |
| Додаток А Технологічна лінія виробництва ковбас, сардельок, сосисок | 65 |
| Додаток Б Результати експериментальних досліджень                   | 67 |

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Найбільшу частку у харчовій галузі займає м'ясна промисловість, підприємства якої виробляють м'ясо та м'ясні вироби. М'ясо є основним джерелом білка в раціоні людини та попит на нього постійно високий.

В Україні протягом останніх років загальний обсяг заготівлі м'яса у забійній масі зменшився на 1,44%. Зокрема, чітко виражено тенденції до зростання темпів приросту виробництва м'яса птиці – на 7,75% і зменшення виробництва яловичини та телятини на 6,11%, свинини - на 6,11%.

На відміну від зниження темпів виробництва м'яса обсяги промислової переробки за останні роки зросли на 5,68%: спостерігалися позитивні темпи приросту переробки м'яса на 9,83% поряд зі зниженням темпу приросту виробництва м'ясних продуктів – на 19,6%.

У структурі виробництва у натуральному вираженні основна частка приходить на вироби ковбасні фаршировані (67,8%), до яких відносяться варені ковбаси, сосиски та сардельки.

У технологічних процесах виробництва ковбас та ковбасних виробів подрібнювачі є базовим технологічним устаткуванням. Операції різання та подрібнення м'ясопродуктів дуже різноманітні та енергоємні, тому велика частка витрат у ціні продукції припадає на електроенергію.

У зв'язку з цим дослідження шляхів підвищення енергоефективності процесу подрібнення м'ясної сировини без втрати якості продукції є дуже актуальним завданням.

Удосконаленню процесу подрібнення м'ясної сировини присвячено досить велику кількість робіт, оскільки саме цей процес є найбільш енергоємним і істотно впливає на якісні показники готової продукції.

Теоретичні основи процесу подрібнення харчових продуктів відображені у роботах А.І. Пелєєва, Ю.А. Мачихіна, О.М. Даурського, В.В. Пеленко,

Н.Є. Рєзніка, В.І. Івашова, К.П. Гуськова, І.А. Рогова, В.І. Карпова, А.Я. Соколова, М.М. Клеменко, Н.Ф. Казакова, Г.А. Мартинова, Г.С. Ходакова, А.В. Горбатова та ін.

**Мета дослідження** – підвищення енергоефективності процесу подрібнення м'ясної сировини для ковбасного виробництва.

**Завдання досліджень:**

- розробка математичної моделі напружено-деформованого стану хрестоподібного ножа подрібнювача м'ясної сировини;
- оптимізація енерговитрат процесу подрібнення м'ясної сировини у подрібнювачі за техніко-економічним показником;
- визначення раціональних параметрів подрібнення м'ясної сировини в подрібнювачах з хрестоподібним ножом;
- дослідження основних закономірностей процесу подрібнення м'ясної сировини у подрібнювачах із хрестоподібним ножом;
- розробка універсальної конструкції подрібнювача м'ясної сировини з хрестоподібним ножом.

**Об'єкт дослідження** – подрібнювач з хрестоподібним ножом.

**Предмет дослідження** – закономірності процесу подрібнення м'ясної сировини у подрібнювачах із хрестоподібним ножом.

**Методи дослідження** – методи аналізу та синтезу, інтерпретації отриманих результатів, моделювання, емпіричний метод.

**Теоретична та практична значущість.** Розроблена математична модель напружено-деформованого стану хрестоподібного ножа подрібнювача м'ясної сировини. Визначена залежність напружень та переміщень хрестоподібного ножа від кута заточки. Визначені раціональні параметри подрібнення м'ясної сировини в подрібнювачах з хрестоподібним ножом.

Розроблено конструкцію хрестоподібного ножа подрібнювача м'ясної сировини, що дозволяють зменшити енерговитрати процесу подрібнення не знижуючи якості готової продукції.

## 2 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

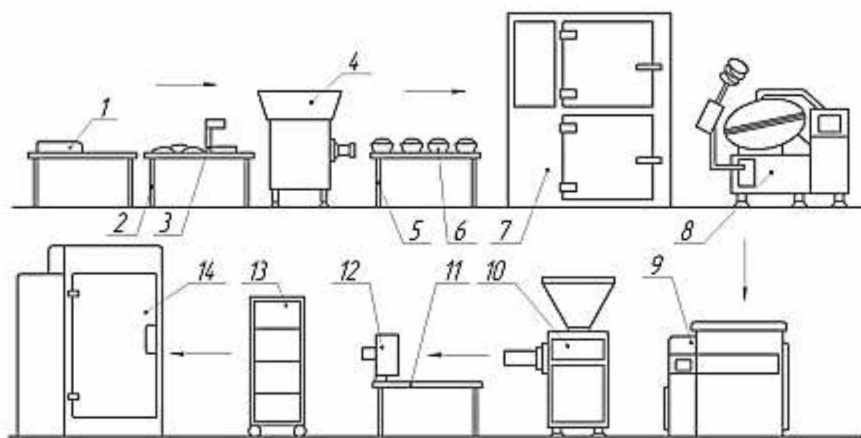
### 2.1 Технологічний процес виробництва ковбасних виробів

Технологічний процес виробництва ковбас, сардельок, сосисок на технологічній лінії компанії «Агромаш» (рис. А1 додатку А) складається з наступних етапів:

- м'ясна сировина проходить обвалування, жилювання, потім подрібнення на вовчку;
- у фаршемішалці змішуються м'ясний шрот та інші компоненти (спеції та прянощі), потім відбувається дозрівання в холодильній камері;
- за допомогою куттера одержують ковбасний фарш, з якого формують ковбасні батони за допомогою ковбасного шприца;
- формований напівфабрикат кліпсують або в'яжуть на виробничому столі, після чого навішують на рами-візки і відправляють для осаджування у холодильну камеру;
- після осаджування раму-візок поміщають у термокамеру, де виріб обсмажується або обварюється;
- перед фасуванням продукція проходить етап охолодження спочатку в душовій камері, а потім у холодильній камері.

Технологічна лінія компанії «Аврора» має програмне забезпечення для контролю термічної обробки. Процес смаження та варіння контролюється датчиками, показання якого виводяться на пульт управління, що дозволяє мінімізувати вплив людини на якість вихідної продукції.

Машинно-апаратурна схема виробництва ковбас на технологічній лінії компанії «Аврора» наведена на рисунку 1.1.



1 - ніж обробний, 2, 5, 11 - виробничі столи, 3 - ваги платформні, 4 - вовчок, 6 - чаші пластикові, 7 - камери холодильна, 8 - куттера, 9 - фаршемішалка, 10 - вакуумний шприц, 12 - кліпсатор, 13 - візок рамний, 14 - установка термодимова

Рисунок 1.1 - Машинно-апаратна схема виробництва ковбас

Після того як сировина проходить процес оброблення та обвалування вона відправляється для від'єднання сполучної тканини, кісток і забруднень на виробничий стіл 2, після чого зважені на вагах 3 шматки м'яса подрібнюються вовчком 4, що має робочі отвори перфорованої решітки діаметром 2...6, 8...12 або 16...25 мм.

Слідом у фаршемішалці 9 відбувається посол м'яса одним з двох способів: сухим або мокрим. Дозрівання розкладеної в пластикові чаші сировини 6 відбувається в холодильній камері 7 при температурі 4 °С.

Для формування ковбасних батонів шприцем 10 використовують тонко подрібнену сировину в куттері 4. Після формування ковбас в оболонку (штучну або натуральну) закладають кінці алюмінієвими скріпками кліпсатором 12 і розвішують батони для осаджування в рамний візок 13.

Після чого батони ковбасні при температурі 90...100°C обсмажують протягом 60...140 хв. у камері термодимовій 14, а потім при температурі 75...85°C варять до досягнення температури 70 °С в центрі батона. Готову продукцію після охолодження направляють в холодильну камеру 7 для зберігання

## 1.2 Огляд обладнання для подрібнення м'ясної сировини

Технологічне обладнання для різання в м'ясній промисловості можна розділити на групи (рис.1.2).

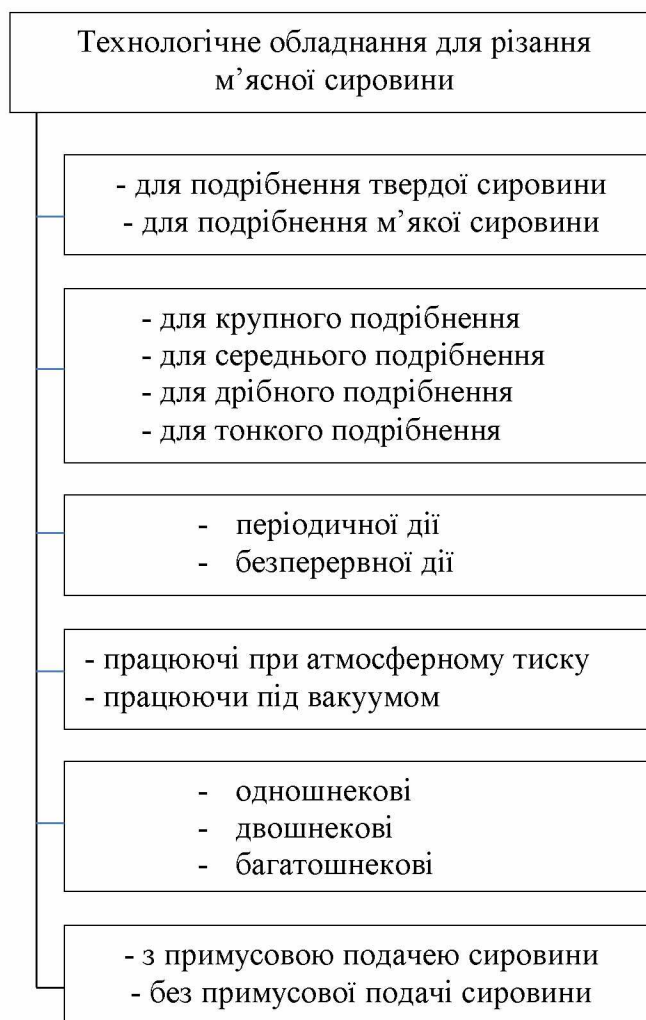


Рисунок 1.2 - Основні групи технологічного обладнання для різання в м'ясній промисловості

До обладнання для подрібнення твердої сировини (м'ясо-кісткового, кісткового, блочного замороженого м'яса, спецій) відносять силові подрібнювачі, дробарки, вовчки-дробарки, агрегати та подрібнювачі для подрібнення блочного замороженого м'яса, подрібнювачі кісток та спецій.

До обладнання для подрібнення м'якої сировини (м'язової, жирової та сполучної тканини) відносять вовчки, шпигорізки, куттери, колоїдні млини та подрібнювачі м'яса [9, 19].

За ступенем подрібнення обладнання можна поділити на обладнання для крупного, середнього, дрібного та тонкого подрібнення.

Процес подрібнення характеризують ступенем подрібнення, проте для практики доцільно класифікувати процес різання за розміром одержуваних частинок (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Характеристика видів подрібнення

| Вид подрібнення | Середній розмір $d$ , мм | Ступінь подрібнення |
|-----------------|--------------------------|---------------------|
| Крупне          | більше 100               | 3...6               |
| Середнє         | 10...50                  | 5...10              |
| Дрібне          | 2...10                   | 10...50             |
| Тонке           | 0,05...2                 | до 100              |

Як правило, м'ясорізальні машини можуть виробляти частинки з різними розмірами. Кінцеві розміри залежать від налагодження та регулювання робочих механізмів, тому відноситимемо машини до певного класу за найменшими розмірами частинок, які можна на них отримувати.

До обладнання для здійснення крупного подрібнення відносяться пили (стрічкові, пластинчасті, дискові) призначені для поділу туш на напівтуші та четвертини; різачи оснащені пневматичним та гідравлічним приводом, вібросекачі.

До обладнання для середнього подрібнення відносять подрібнювачі, призначені для розрізання м'ясних заморожених блоків, машини для пластування та різання шпику; машини для розрізання м'ясного продукту на порції та на шматки певного розміру.

До обладнання для дрібного подрібнення відносять промислові м'ясорубки або вовчки.

Машини для тонкого подрібнення призначені для доведення м'ясної сировини до гомогенної однорідної маси у вигляді емульсії. У процесі

гомогенізації структура клітин руйнується, а розміри клітин подрібненої сировини не перевищують 0,1-0,5 мм.

Для здійснення тонкого подрібнення в промисловості застосовується безліч машин, які можна класифікувати за виконанням різального механізму на:

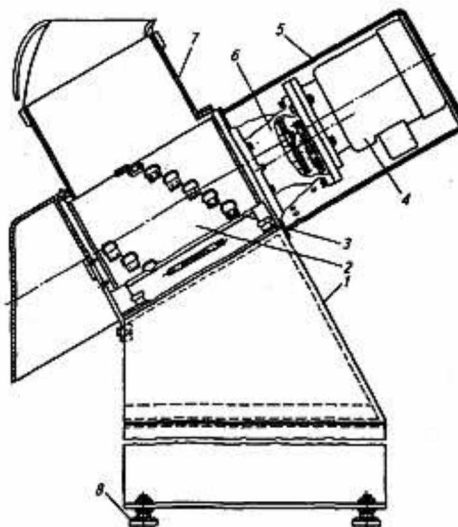
- куттери, у яких ріжучим механізмом є куттерний ніж або набір ножів, що обертаються та подрібнюють і перемішують сировину, що знаходиться в чаші;

- емульситори, які як подрібнювальний механізм використовують вузол з набором хрестоподібних ножів і перфорованих решіток;

- мікрокуттери, у яких різальний вузол складається з різальних кілець і конусів, на яких нарізані зуби. Відстань між зубами визначає ступінь подрібнення сировини;

- комбіновані машини, які поєднують в одній машині відразу кілька викладених вище варіантів ріжучого механізму.

Найбільш поширені в м'ясній промисловості для подрібнення блоків замороженого м'яса подрібнювачі Б9-ФДМ-01 та Я2-ФРЗ-М (рис. 1.3-1.4)



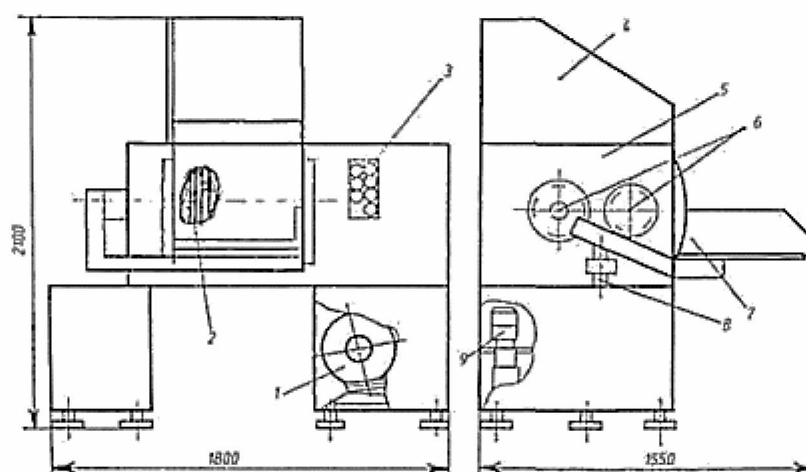
1 - станина; 2- барабан; 3 - ножі; 4 - електродвигун; 5- кожух; 6 - редуктор;  
7- бункер; 8- опора

Рисунок 1.3 - Блокорізка Б9-ФДМ-01

Блокорізка Б9-ФДМ-01 має барабан, виготовлений з нержавіючої сталі, на якому в два ряди зроблено 24 отвори по спіралі. Над отворами закріплені ножі, ріжучі кромки яких виступають на 6...7 мм над барабаном. Однією з переваг даного подрібнювача є те, що барабан і бункер розташовані під кутом  $30^\circ$  до горизонту для самостійного сповзання заморожених блоків м'яса.

Крім того блокорізка має велику потужність і відносно невелику масу машини. Недолік блокорізки в низькій продуктивності при високому енергоспоживанні.

Блокорізка Я2-ФРЗ-М (рис.1.4) складається з подрібнювального органу, подаючого пристрою, привода, корпусу. Подрібнювальним органом служать два вали з наборами фрез, на яких є по два зуби з похилою кромкою. Диски встановлюють так, щоб кромки наступного зуба зміщувалися відносно попереднього, утворюючи гвинтову лінію. Вали обертаються назустріч один одному із частотою  $1,17 \text{ с}^{-1}$ . Перевага даного подрібнювача у надійності механізму подрібнення та відносно високій продуктивності. Недолік у суттєвих габаритних розмірах та масі машини. Крім того, при подрібненні заморожених блоків з розмірами, що перевищують стандартний розмір  $370 \times 370 \times 150 \text{ мм}$ , продуктивність подрібнювача знижується.



1 - електродвигун; 2 - ріжучий механізм; 3 - пульт управління;  
4 - завантажувальна горловина; 5 - корпус; 6 - підшипникові опори фрезерних валів; 7- витяг; 8 - гідроциліндр; 9 - гідростанція

Рисунок 1.4 – Блокорізка Я2-ФРЗ-М

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики блокорізок

| Показники               | Б9-ФДМ-01     | Я2-ФРЗ-М       |
|-------------------------|---------------|----------------|
| Продуктивність, кг/год. | 3600          | 4100-5400      |
| Потужність, кВт         | 55            | 15             |
| Габаритні розміри, мм   | 1370x970x1610 | 1820x1210x1465 |
| Маса, кг                | 422           | 1490           |

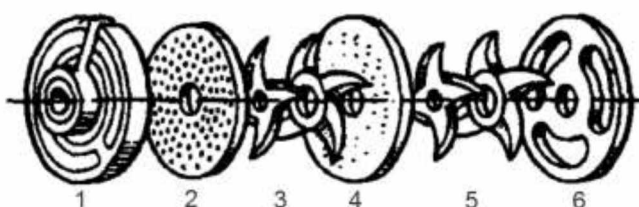
Для подрібнення м'якої сировини найчастіше використовують вовчки з ступенем подрібнення сировини «середня», «дрібна».

Подрібнювач складається з вузла подачі сировини, різального вузла і приводу вовчка. Механізмом подачі є завантажувальна горловина, в яку завантажується сировина для подрібнення. Механізмом подрібнення вовчка є чергуванням нерухомих решіток і ножів, що обертаються.

Вовчок К7-ФВП-160-2 (рис.1.5). Механізм подачі сировини відрізняється тим, що складається з двох шнеків: подаючого та живлячого. Ріжучий механізм має три решітки та оригінальні здвоєні односторонні ножі з криволінійним пір'ям, що має гострий кут заточування з одного боку ножа та плоску поверхню з іншого (рис.1.6). Вовчок має малі габаритні розміри та підвищену продуктивність (5000 кг/год.)



Рисунок 1.5 - Вовчок К7-ФВП-160-2



1- підпірна решітка; 2 - вихідна решітка; 3, 5 - односторонні багатозубі ножі; 4 - проміжна решітка; 6- приймальна решітка

Рисунок 1.6 - Ріжучий механізм вовчка К7-ФВП-160-2

Вовчок К6-ФВП-120, призначений для подрібнення м'ясної сировини та застосовується в основному у ковбасному виробництві (рис. 1.7). Шнеки, що подають і живлять, встановлені в лінію, але обертаються з різними швидкостями. Живлячий шнек приводиться в роботу від мотор-редуктора через ланцюгову передачу. Комплект різального вузла складається з набору рухомих хрестоподібних ножів та нерухомих перфорованих решіток з різним діаметром робочих отворів.



1- станина; 2 - гільза, 3 - ріжучий механізм; 4 - накидна гайка, 5 - подаючий шнек, 6 - корпус циліндра, 7 - ребро, 8 - живлячий шнек; 9 - суцільний вал, 10 - завантажувальна горловина; 11 – мотор-редуктор, 12 - корпус підшипників, 13 - клинопасова передача, 14 – електродвигун, 15 - корпус шнеків

Рисунок 1.7 - Вовчок К6-ФВП-120 «ВМЗ-САТУРН»

Основною перевагою цієї машини є висока надійність. Недоліком є невисока продуктивність (2000 кг/год.).

Вовчок К6-ФВЗП-200 (рис. 1.8) складається з живильника, ріжучого механізму, приводу та станини. вовчок відрізняється наявністю двох шнеків, що подають, з постійним кроком витків та одного робочого шнека зі змінним кроком, що забезпечує рівномірну подачу сировини незалежно від кількості сировини у завантажувальній чаші.



Рисунок 1.8 - Вовчок К6-ФВЗП-200

Куттер Л5-ФКМ (рис. 1.9) належить до обладнання відкритого типу періодичної дії. Завдяки використанню ножів із тонкими лезами (3 мм) знижується швидкість нагрівання фаршу, збільшуються показники енергозбереження, зменшується надходження повітря в масу сировини. Наявність у пристрої частотного перетворювача дозволяє проводити контроль та програмування процесу подрібнення – якість одержуваного фаршу завдяки цьому підвищується.



Рисунок 1.9 - Куттер Л5-ФКМ

Вакуумний куттер ВК-125 (рис.1.10) призначений для високопродуктивного процесу тонкого подрібнення сировини для ковбасного виробництва (ковбаси, сосиски, сардельки тощо).



Рисунок 1.10 - Вакуумний куттер ВК-125

Основною перевагою вакууму є краща засвоюваність води порівняно з куттеруванням без вакууму. Застосування частотних перетворювачів при куттеруванні знижує витрати електроенергії до 30%.

*Висновок.* Особливе місце при виробництві ковбасних виробів займає технологічний процес подрібнення м'ясної сировини, так як він найбільше впливає на якість фаршу та вихід готового продукту.

Проаналізувавши технологічне обладнання, що використовується для подрібнення м'ясопродуктів видно, що потужність електродвигунів, споживана в процесі подрібнення м'ясної сировини, набагато перевершує встановлену потужність, наприклад, металорізальних верстатів. З огляду на це, можна зробити висновок, що чималу частку в ціні продукції займають витрати на електроенергію.

Енергоефективність процесу подрібнення м'ясної сировини значною мірою визначається конструктивними особливостями різального вузла.

Для того щоб інтенсифікувати процес подрібнення та енергозбереження процесу подрібнення м'ясної сировини необхідний комплексний підхід, який був прийнятий під час проведення досліджень та розробки конструкції подрібнювача.

## 2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Методика проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження процесу подрібнення м'ясної сировини з використанням різального механізму різного виконання та при різних режимах різання проводилися на експериментальній установці (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Експериментальна установка

Конструкція експериментальної установки складається з станини (5), де розташовуються пов'язані між собою окремі вузли і деталі установки. В якості різучого вузла (1) був використаний вузол від м'ясорубки Moulinex ME108832, в який входить корпус, шнек, решітки, ніж та гайка затискання. Шнек м'ясорубки через ремінну передачу отримує крутний момент від електродвигуна постійного струму (2).

Для можливості регулювання частоти обертання електродвигуна була зібрана конструкція згідно схеми (рис. 1.2), до якої входять електродвигун постійного струму (2) серії П-22, діодний міст (3), автотрансформатор ЛАТР РНО 250-5(4). Автотрансформатор дозволяє плавно регулювати напругу змінного струму частотою 50 Гц за допомогою обертових рукояток (6). Експериментальна установка зовні покрита кожухом (7). Для визначення частоти обертання шнека використано тахометр годинниковий ТЧ10-Р.

Потужність, що витрачається на подрібнення м'ясної сировини, вимірювалася ватметром TS-836A. Покази з приладу знімалися при встановленому режимі.

Для проведення експерименту визначення енерговитрат на подрібнення м'ясної сировини було використано м'ясо яловичини 1 сорту грудної частини, як найбільш складне для подрібнення, так як м'ясо має шарувату структуру, шари м'яса перемежуються із шарами жиру та плівками, а також м'ясо свинини та м'ясо птиці. М'ясо було нарізане на шматки  $100 \pm 10$  грам. Для зважування використовувалися ваги CAS SW-10.

Методика проведення експерименту була такою. Перед початком експерименту за допомогою тахометра ТЧ10-Р подрібнювач налаштовувався на певну частоту обертання та фіксувалася споживана потужність на холостому ході. Далі попередньо підготовлене м'ясо завантажувалося в горловину подрібнювача, зверху встановлювався металевий штовхач масою 5 кг. Одночасно із включенням двигуна вмикався секундомір і вимикався після закінчення процесу подрібнення. У процесі подрібнення м'яса фіксувалися показання ватметра при встановленому режимі (при постійних показаннях протягом 10 секунд). Зусилля затягування гайки затискної було фіксованим для всіх експериментів, для чого використовувався динамометричний ключ із пристосуванням.

Експеримент щодо визначення енерговитрат на подрібнення м'ясної сировини складався з 3 частин:

- подрібнення м'ясної сировини з використанням перфорованих решіток з кутом різання, що утворюється між торцевою поверхнею решітки та ріжучими кромками хрестоподібного ножа при різних частотах обертання шнека;
- подрібнення м'ясної сировини з використанням хрестоподібних ножів, лопаті якого мають у поперечному перерізі форму паралелограма та ножів лопаті якого мають у всіх поперечних перерізах форму класичного клину;
- подрібнення м'ясної сировини з використанням хрестоподібних ножів на задніх поверхнях яких є ріжучі леза, розташовані по дугам концентричних кіл і без таких лез.

## 2.2 Визначення напруженого та деформованого стану хрестоподібного ножа з різним кутом заточування

Одним із найбільш значущих факторів, що впливають на процес подрібнення м'ясної сировини, є геометричні параметри різального вузла. Кут заточування ножа значно впливає на цей процес. З метою визначення впливу кута заточування на характеристики ножа було проведено аналіз напружено-деформованого стану на основі методу кінцевих елементів (МКЕ).

Основна ідея МКЕ полягає у заміні системи інтегральних та диференціальних рівнянь системою лінійних рівнянь. Частіше всього з кількох рівнянь формується одна цільова функція.

Метод кінцевих елементів чисельний, наближений. Його завдання знайти значення невідомої функції для певних фіксованих (вузлових) значень аргументів і подальшої апроксимації значень цієї функції між вузлами.

Стандартний вид системи лінійних рівнянь в матричному вигляді  $[K] \{X\} = \{F\}$ , де  $\{X\}$  - вектор невідомих;  $\{F\}$  - вектор правих частин рівнянь (вільних членів);  $[K]$  - матриця коефіцієнтів за невідомих, часто звана матрицею жорсткості. Фізичний зміст рівнянь можливий будь-який, але алгоритм рішення залишається майже незмінним. Коефіцієнти при невідомих визначають за складними, найчастіше інтегральними, але однотипним виразами у кожній галузі застосування МКЕ.

Для проведення аналізу напружено-деформованого стану хрестоподібного ножа використали обчислювальний комплекс COSMOS/Works, що реалізує метод кінцевих елементів для вирішення задач механіки деформованого твердого тіла. Для визначення напружено-деформованого стану програмним комплексом COSMOS/Works використовується критерій максимального напруження Мізеса, також відомий як теорія енергії формоутворення. Відповідно до цієї теорії матеріал починає пошкоджуватися у місцях, де напруга за Мізесом дорівнює граничній напрузі.

У більшості випадків, межа плинності використовується як граничне напруження. Еквівалента напруга  $\sigma_{\text{Мізес}}$  в деякій точці тіла розраховується за формулою:

$$\sigma_{\text{vonMises}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}, \quad (2.1)$$

де  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – головні напруги.

На першому етапі були створені тривимірні геометричні моделі хрестоподібних ножів із різними кутами заточування.

Далі були обрані типи розрахунків та характеристики використовуваних матеріалів. Як матеріал, з якого були виготовлені ножі, було обрано інструментальну вуглецеву сталь У8А. В даний час у вітчизняній промисловості вона є найпоширенішим матеріалом для виготовлення ножів та решіток промислових подрібнювачів.

На наступному етапі були задані граничні умови у переміщеннях та задані навантаження, що діють на моделі (рис. 2.2).

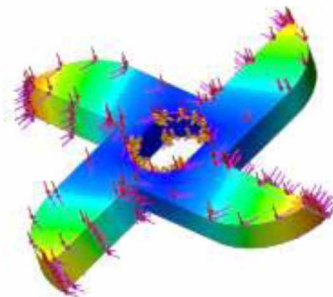


Рисунок 2.2 – Схема сил та обмежень прикладених до хрестоподібного ножа подрібнювача

Для базування ножа в подрібнювачі використовується центральний посадковий отвір, яким ніж встановлюється на ступінь шнека, поверхня перфорованої решітки і ступінь шнека. Відповідно до цього було прикладене обмеження на розроблену модель.

На аналізовані моделі були прикладені такі навантаження:

- тиск на лопать подрібнюваного середовища;
- сила тертя між лопаттю та решітками;

- сили тертя між лопаттю та подрібнюваним продуктом;
- сила різання, необхідна для відрізання шматочка від продукту, що обробляється;

У процесі подрібнення лопаті хрестоподібного ножа піддаються тиску з боку подрібнюваної сировини, який нагнітається обертальним рухом подаючого шнеку. Тиск досягає величини 0,3 МПа [55].

Сила тертя між лопаттю та решітками, дорівнює 3 кН. Сила тертя між лопаттю та подрібнюваним продуктом на передній частини ножа дорівнює 0,6 кН. Сила тертя на основі клину, залежить від кута тертя на скосі клину. Для кута тертя  $90^\circ$  - 665 Н,  $80^\circ$  - 506 Н,  $70^\circ$  - 433 Н,  $50^\circ$  - 394 Н,  $30^\circ$  - 313 Н. Величини зусиль різання м'язових волокон, приведені до одиниці довжини ріжучої кромки, відповідно рівні з кутом заточування  $90^\circ$  - 3850 Н/м,  $80^\circ$  - 3520 Н/м,  $70^\circ$  - 3370 Н/м,  $50^\circ$  - 3150 Н/м,  $30^\circ$  - 2680 Н/м [1, 33, 41, 55].

Далі розроблені моделі були розбиті на кінцеві елементи у вигляді тетраедра (рис. 2.3), ребра яких становили 0,135 мм. Потім був виконаний розрахунок розглянутих моделей та аналіз напружено-деформованого стану ножів із різним кутом заточування.

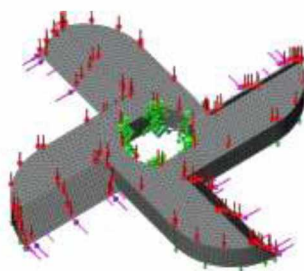


Рисунок 2.3 – Модель ножа, розділена на кінцеві елементи

Епюри напруженого стану ножів з кутом заточування  $90^\circ$ ,  $80^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $30^\circ$  представлені рисунку 2.4.

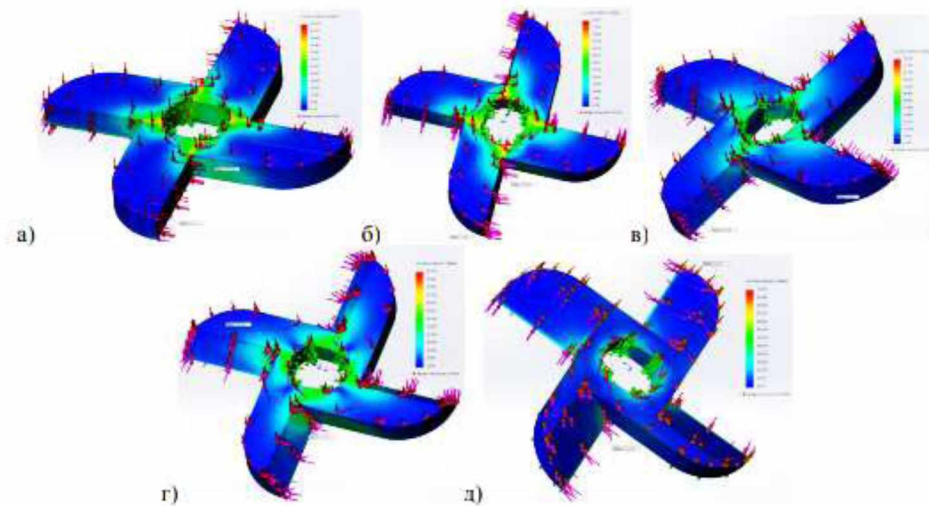


Рисунок 2.4 – Епюри напруженого стану ножа з кутами заточування:  
а) 90°; б) 80°; в) 70°; г) 50°; д) 30°

Для визначення характеру розподілу напруження, на кромці ножа були виставлені датчики кроком 4 мм.

Показання, отримані з датчиків під час аналізу напруженого стану, були занесені до таблицю 2.1, графічно показано на рисунку 2.5.

Таблиця 2.1 – Показання датчиків при аналізі напруженого стану

| Довжина лопаті<br>ножа | Кут заточування хрестоподібного ножа |         |         |         |         |
|------------------------|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|                        | кут 90°                              | кут 80° | кут 70° | кут 50° | кут 30° |
| 0                      | 34,968                               | 24,878  | 22,54   | 21,008  | 18,996  |
| 4                      | 34,216                               | 24,713  | 22,15   | 20,457  | 17,739  |
| 8                      | 33,15                                | 23,952  | 21,75   | 19,53   | 17,571  |
| 12                     | 32,247                               | 23,112  | 21,58   | 19,955  | 17,943  |
| 16                     | 32,311                               | 23,213  | 21,99   | 20,786  | 19,216  |
| 20                     | 33,572                               | 23,782  | 22,54   | 21,365  | 19,92   |
| 24                     | 35,559                               | 26,812  | 24,559  | 23,339  | 21,758  |
| 28                     | 37,343                               | 29,987  | 26,639  | 24,861  | 23,303  |
| 32                     | 41,263                               | 34,522  | 30,971  | 28,055  | 24,713  |

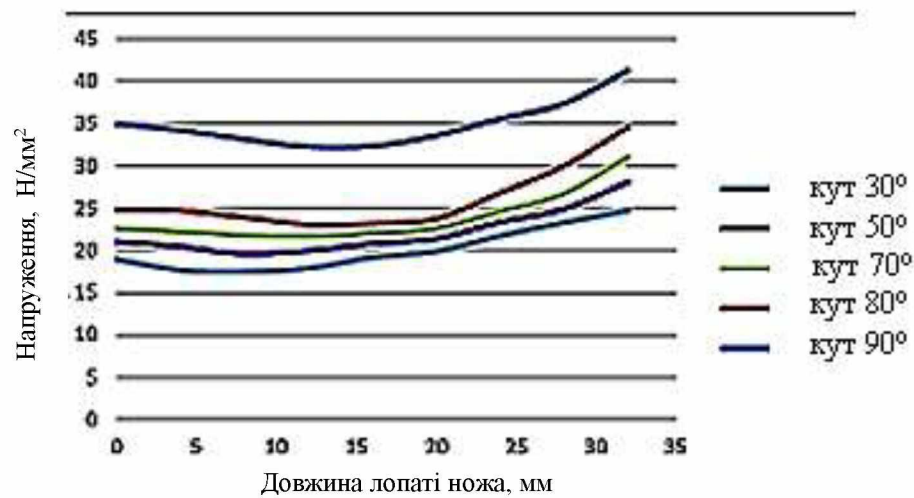


Рисунок 2.5 – Залежність напружень на кромці ножа від кута заточування

Проведений аналіз показав, що напруження, які виникають у ножі, зростають із збільшенням кута загострення. Максимальні напруження виникають на лезі ножа з кутом заточування  $90^\circ$  і становлять 57,968 МПа.

Крім того, проведений аналіз показав, що найбільші зусилля, яким піддаються ножі, пов'язані з тертям в контактi з решітками. Це твердження підтверджується у роботах Комісарова та Гаврилова [16, 50].

Далі було проведено аналіз переміщення ножів під впливом зовнішніх сил. Обмеження та сили, прикладені до ножа, залишилися незмінними (рис.2.6).

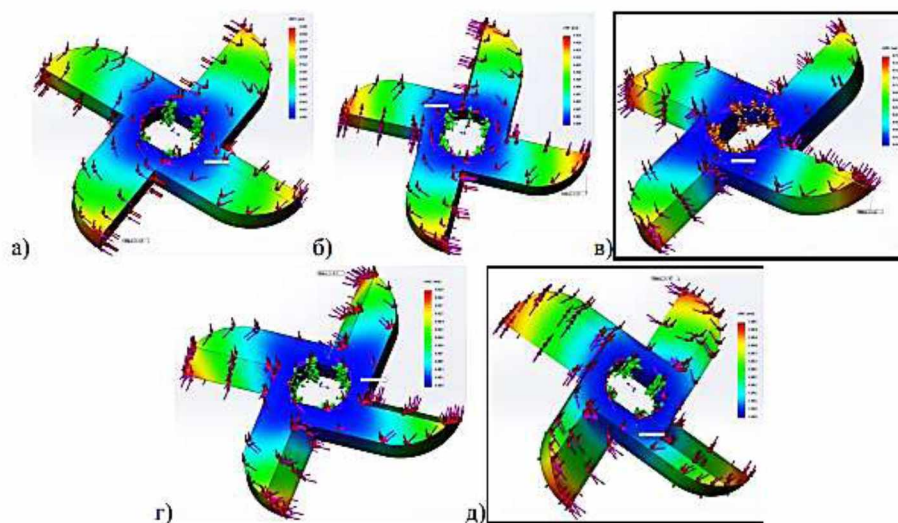


Рисунок 2.6 – Епюри переміщень ножів з кутами заточування:  
а)  $90^\circ$ ; б)  $80^\circ$ ; в)  $70^\circ$ ; г)  $50^\circ$ ; д)  $30^\circ$

Результати показань датчиків були занесені у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Показання датчиків при аналізі переміщень

| Відстань датчика | Кут заточування хрестоподібного ножа |         |         |         |         |
|------------------|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|                  | кут 90°                              | кут 80° | кут 70° | кут 50° | кут 30° |
| 0                | 0,02                                 | 0,019   | 0,015   | 0,0125  | 0,005   |
| 4                | 0,018                                | 0,017   | 0,013   | 0,01    | 0,004   |
| 8                | 0,016                                | 0,015   | 0,011   | 0,008   | 0,0035  |
| 12               | 0,014                                | 0,0125  | 0,009   | 0,0065  | 0,003   |
| 16               | 0,012                                | 0,01    | 0,007   | 0,005   | 0,0025  |
| 20               | 0,0095                               | 0,008   | 0,0055  | 0,004   | 0,002   |
| 24               | 0,007                                | 0,006   | 0,004   | 0,003   | 0,0015  |
| 28               | 0,005                                | 0,004   | 0,0025  | 0,002   | 0,001   |
| 32               | 0,002                                | 0,0015  | 0,001   | 0,001   | 0,001   |

За результатами показань датчиків був побудований графік залежності переміщень ножа від кута загострення (рис. 2.7).

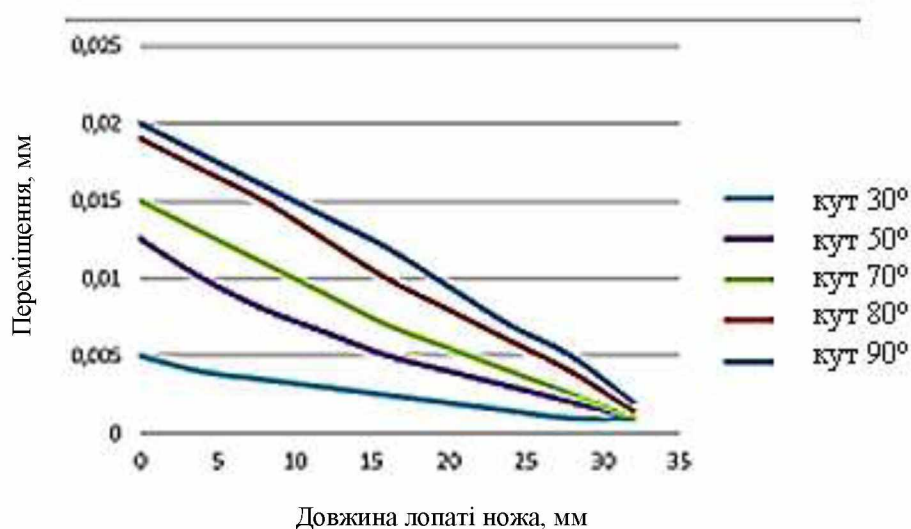


Рисунок 2.7 – Залежність переміщень ножа від кута загострення

З проведеного аналізу випливає, що максимальні переміщення ножа знаходяться на кромці лопатей і досягають 0,02 мм.

Далі було проведено аналіз деформації хрестоподібного ножа (рис. 2.8).

Результати показань датчиків приведені у таблиці 2.3.

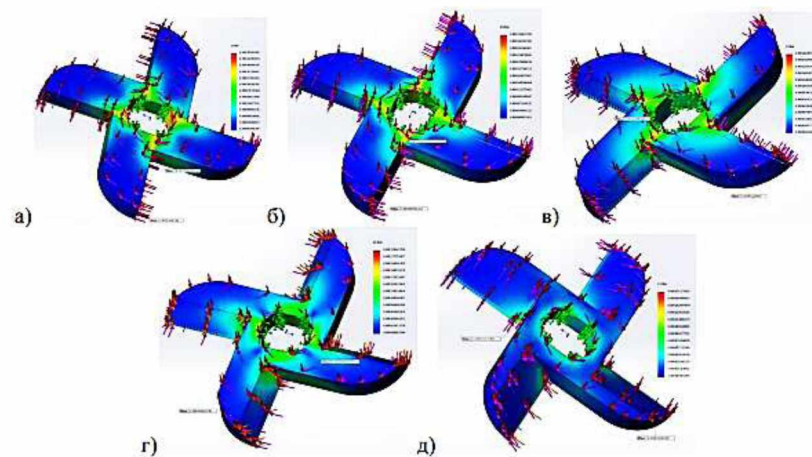


Рисунок 2.8 - Епюри деформацій ножів з кутами заточування:

а) 90°; б) 80°; в) 70°; г) 50°; д) 30°

Таблиця 2.3 – Показання датчиків при аналізі деформованого стану ножа

| Відстань датчика | Кут заточування хрестоподібного ножа |          |           |           |           |
|------------------|--------------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
|                  | кут 90°                              | кут 80°  | кут 70°   | кут 50°   | кут 30°   |
| 0                | 0,000115                             | 0,000065 | 0,0000594 | 0,0000558 | 0,0000528 |
| 4                | 0,000105                             | 0,000058 | 0,0000528 | 0,000048  | 0,000045  |
| 8                | 0,000103                             | 0,000057 | 0,0000506 | 0,0000465 | 0,000042  |
| 12               | 0,000102                             | 0,000057 | 0,00005   | 0,000046  | 0,0000415 |
| 16               | 0,000101                             | 0,000056 | 0,0000481 | 0,000044  | 0,000038  |
| 20               | 0,0001                               | 0,000055 | 0,000048  | 0,0000446 | 0,0000363 |
| 24               | 0,000103                             | 0,000057 | 0,000049  | 0,0000435 | 0,0000359 |
| 28               | 0,00011                              | 0,000069 | 0,000055  | 0,0000466 | 0,0000364 |
| 32               | 0,0001363                            | 0,000093 | 0,000082  | 0,0000664 | 0,0000437 |

За результатами показань датчиків було побудовано графік залежності деформацій ножа від кута загострення (рис. 2.9).

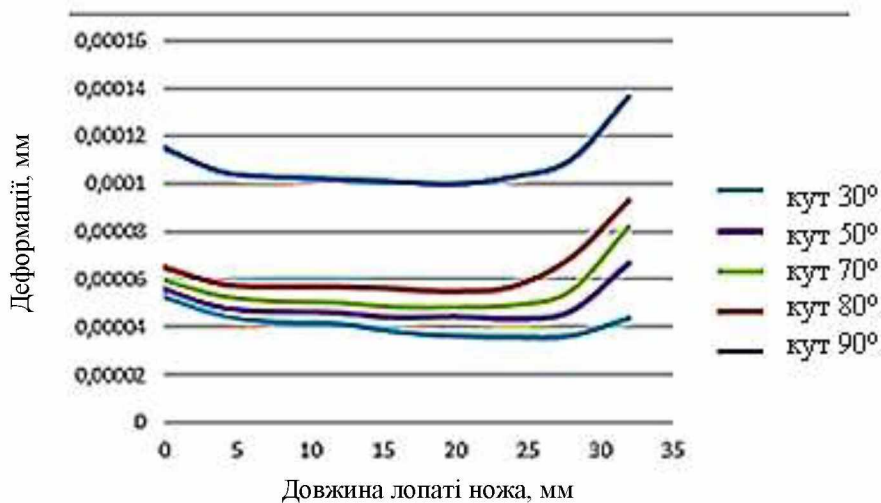


Рисунок 2.9 – Залежність деформацій ножа від кута загострення

Проведений аналіз показав, що найбільшим деформаціям піддається ніж із кутом заточування 90°.

### 2.3 Оптимізація енерговитрат процесу подрібнення м'ясної сировини в подрібнювачі по техніко-економічному показнику

Для вирішення задачі оптимального вибору продуктивності подрібнювача в інтервалі заданих значень за мінімальною величиною енергетичних витрат на одиницю маси подрібнювальної сировини був застосований методологічний підхід, який полягає в оптимізації процесу подрібнення м'ясної сировини за техніко-економічним показником, в якості якого використовується відношення сумарних енергетичних витрат у вартісному вираженні до витрати продукції, що подається на подрібнення при обмеженнях на величину інтенсивного навантаження  $q$  (Н/м<sup>2</sup>) на решітку:

$$R = \frac{C_e \sum_{i=1}^n N_{ei}}{Q} \rightarrow \min, i = 1, 2, \dots, n, w_{max} \leq [w], f_{max} \leq [f], \quad (2.2)$$

де  $C_e$  - ціна електроенергії, грн/кВт·год.;

$\sum_{i=1}^n N_{ei}$  - сумарні втрати потужності приводу подрібнення,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$N_{e1}$  - потужність, що витрачається на продавлювання сировини в робочій отвір решітки при її різанні ножем;

$N_{e2}$  - потужність, що витрачається на подолання сил тертя між подрібненою сировиною та робочим отвором решітки;

$N_{e3}$  - потужність, що витрачається на подолання сил тертя між корпусом подрібнення та подрібнювальною сировиною;

$N_{e4}$ - потужність, що витрачається на подолання сил тертя між поверхнею подавального шнека та сировини;

$N_{e5}$ - потужність, що витрачається на деформації подрібнювальної сировини при її проходженні від бункера до подрібнювача;

$N_{e6}$ - потужність, що витрачається на процес різання сировини хрестоподібним ножом;

$N_{e7}$ - потужність, що витрачається на деформації сировини у міжпір'явому просторі ножа;

$w_{max}, [w]$  - максимальний та допустимий прогин решітки від радіального згинального моменту, м;

$f_{max}, [f]$  – максимальний та допустимий прогин ножа, м.

Продуктивність подрібнювача визначається співвідношенням:

$$Q = \rho v F, \quad (2.3)$$

де  $\rho$ - щільність подрібнювальної сировини , кг/м<sup>3</sup>;

$v$ - швидкість протікання, м/с;

$F$ - площа протікання, м<sup>2</sup>.

З урахуванням рівняння руху сировини в процесі її подачі всередині циліндричного корпусу шнековим механізмом і різання хрестоподібним ножом, а також втрат енергії на тертя і деформацію, будемо використовувати вираз для визначення продуктивності подрібнювача в залежності від його основних конструктивних параметрів і кутової швидкості обертання гвинтового шнека [6]:

$$Q = \rho \frac{M_{\text{прив}} - M_{\text{тр}}^{\text{ц.о.к}} + M_{\text{ніж}}^{\text{різ}} + M_{\text{ніж}}^{\text{деф}} + M_{\text{тр}}^{\text{н.р}}}{F_{\text{отв}}^{\text{різ}} + F_{\text{отв}}^{\text{тр}} + F_{\text{деф}}^{\text{м'яс}} + F_{\text{ц.о.к}}^{\text{тр}} + F_{\text{шн}}^{\text{тр}}} \cdot \frac{\pi d^4}{4} \eta \left[ 1 - \frac{4mS_{\text{лез}}}{\pi(D_{\text{н}} + D_{\text{в}})} \right] \omega. \quad (2.4)$$

Із аналізу критерію (2.2) виходить, що при невеликій продуктивності

$Q$  співвідношення  $\frac{C_e \sum_{i=1}^n N_{ei}}{Q}$  буде збільшуватися, при надмірному збільшенні  $Q$  потужність приводу на переробку м'ясної сировини буде значно зростати, а значить буде зростати і співвідношення  $\frac{C_e \sum_{i=1}^n N_{ei}}{Q}$ . Звідси існування компромісу між показниками, що вступають в конфлікт, які визначаються функціональною залежністю  $Q = f(\omega)$ .

Виразимо чисельник виразу (2.2) через кутову швидкість обертання гвинтового шнека і ножа подрібнювача  $\omega$ . Залежність сумарних втрат потужності приводу подрібнювача від  $\omega$  апроксимувати квадратичним Арівнянням за експериментальними даними:

$$\sum_{i=1}^n N_{ei} = a\omega^2 + b\omega + c, \quad (2.5)$$

де  $a, b, c$  - емпіричні коефіцієнти.

Спростимо вираз (2.4):

$$Q = A \cdot \omega, \quad (2.6)$$

$$\text{де } A = \rho \frac{M_{\text{прив}} - M_{\text{тр}}^{\text{ц.о.к}} + M_{\text{ніж}}^{\text{різ}} + M_{\text{ніж}}^{\text{деф}} + M_{\text{тр}}^{\text{н.р}}}{F_{\text{отв}}^{\text{різ}} + F_{\text{отв}}^{\text{тр}} + F_{\text{деф}}^{\text{м'яс}} + F_{\text{ц.о.к}}^{\text{тр}} + F_{\text{шн}}^{\text{тр}}} \cdot \frac{\pi d^4}{4} \eta \left[ 1 - \frac{4mS_{\text{лез}}}{\pi(D_H + D_B)} \right]. \quad (2.7)$$

Підставимо вирази (2.4) та (2.5) у вираз (2.1):

$$R = \frac{C_e \sum_{i=1}^n N_{ei}}{Q} = \frac{a\omega^2 + b\omega + c}{A\omega} \rightarrow \min, i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.8)$$

З умови існування екстремуму:

$$\frac{dR}{d\omega} = \frac{a\omega^2 - c}{\omega^2} = 0. \quad (2.9)$$

Звідси виходить єдине рішення в точці оптимуму:

$$a\omega^2 - c = 0 \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{c}{a}}. \quad (2.10)$$

Така як

$$\frac{d^2 R}{d\omega^2} = \frac{2c\omega}{\omega^4} > 0, \quad (2.11)$$

в точці оптимуму (2.10) має місце мінімум.

Таким чином, обґрунтована екстремальна характеристика процесу подрібнення м'ясної сировини в подрібнювачі, яка дозволяє здійснювати вибір

оптимальної кутової швидкості, а, отже, і продуктивності подрібнювача при мінімумі енерговитрат.

Найважливішим обмеженням у вирішенні задачі оптимізації (2.2) - (2.11) є величина тиску м'ясної сировини (величина зовнішнього навантаження) на решітку, яка визначається виходячи з міцності решітки і, перш за все, її товщини. В цьому випадку розглядається гранично допустиме значення спільних максимальних прогинів хрестоподібного ножа та перфорованої решітки за умови рівності цих величин. Величини прогинів решітки при заданих її розмірах і відомому навантаженні визначаються умовами її зовнішнього закріплення. Будемо вважати, що решітка, перфорована отворами, жорстко закріплена по внутрішньому контуру.

Для визначення величини прогину решітки використовуються диференціальне рівняння симетричного вигину круглої пластини постійної товщини:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{d}{dr} \left( \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left[ r \frac{dw}{dr} \right] \right) \right) = \frac{q(r)}{D}, \quad (2.12)$$

де  $r$ - відстань від точки, що розглядається, до центру пластини, м;

$w$ - прогин пластини, м;

$dr$  - інтенсивність зовнішнього поперечного навантаження, Н/м<sup>2</sup>;

$D = \frac{E\delta_p^3}{12(1-\nu^2)}$  – циліндрична жорсткість пластини, Н·м;

$E$  - модуль поздовжньої пружності матеріалу решітки, Па;

$\delta_p^3$  - товщина решітки, м;

$\nu$  - коефіцієнт Пуассона матеріалу решітки.

У разі рівномірно розподіленого навантаження  $dr = q = const$  отримано рішення рівняння (2.12) [2, 6] у вигляді виразу для пружної лінії (прогину пластини):

$$w = -\frac{q(R-r)^2 r^2}{8D} + \frac{qb^2(R-r)^2 r^2}{8D} \ln R + \frac{qb^2(R-r)^2 r^2}{8D} \frac{qb^2(R-r)^2 r^2}{8D} \ln r, \quad (2.13)$$

а також м максимальне значення прогину у вигляді:

$$w_{max} = -\frac{q(R-r)^2}{4D} \left[ \frac{(R-r)^2}{2} + r^2 \ln \frac{r}{R} \right], \quad (2.14)$$

де  $R, r$  – радіуси решітки та центрального отвору, Н·м;

$D$  – циліндрична жорсткість решітки, Н·м.

Циліндрична жорсткість решітки визначається за формулою:

$$D = \frac{E\delta_p^3}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{R-nd-r}{R} \right), \quad (2.15)$$

де  $d$  – діаметр робочих отворів решітки, м;

$n$  – кількість отворів.

Розрахунок рівняння пружної лінії ножа, що працює на вигін, в подібних умовах навантаження та закріплення дає максимальну величину прогину:

$$f_{max} = -\frac{qS(R-r)^4}{8EJ}, \quad (2.16)$$

де  $J$  – момент інерції перерізу ножа при опорі вигину.

Величина  $J$  визначається відношенням:

$$J = -\frac{S\delta_n^3}{12}, \quad (2.17)$$

де  $\delta_n$  – товщина леза ножа;

$S$  – ширина леза.

Рівняння (2.16) з урахуванням (2.17) приймає вид:

$$f_{max} = -\frac{3q(a-b)^4}{2E\delta_n^3}, \quad (2.18)$$

Умови забезпечення мінімуму концентрації напружень у стику ніж-решітка і, тим самим, зниження зносу має вид:

$$w_{max} = f_{max}. \quad (2.19)$$

З урахуванням відношень (2.14) та (2.18) рівняння (2.19) має вид:

$$\delta_p = \delta_n \left[ 1 + \frac{2b^2}{(a-b)^2} \ln \frac{b}{a} \right]^{\frac{1}{3}} \left( \frac{a}{a-n_r d-b} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (2.20)$$

Для забезпечення рівномірного поля контактних напружень в стику ніж-решітка і мінімізації величини зносу, товщина ножа і товщина решітки повинні відповідати співвідношенню (2.20).

Таким чином, завдання оптимізації процесу подрібнення м'ясної сировини в подрібнювачі можна сформулювати наступним чином: знайти такі значення продуктивності подрібнювача, які б доставляли мінімум критерію

(2.2) при виконанні умов на існування екстремуму (2.3) -(2.11) і умов міцності ніж-решітка (2.12) - (2.20).

Для наступних технологічних і конструктивних розмірів пари ніж-решітка і фізико-механічних характеристик матеріалу, з якого вони виготовлені, отримані екстремальні характеристики процесу подрібнення м'ясної сировини:

$R = 40$  мм - радіус решітки;

$r = 8$  мм - радіус центрального отвору;

$\delta_p = 4$  мм - товщина решітки;

$\delta_n = 2,2$  мм - товщина ножа;

$q = 0,7 \cdot 10^6$  Па - тиск м'ясної сировини;

$n = 30$  - кількість отворів в решітці;

$d = 3,5$  мм - діаметр робочих отворів решітки;

$E = 2,1 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup> - модуль поздовжньої пружності;

$\nu = 0,3$  - коефіцієнт Пуассона;

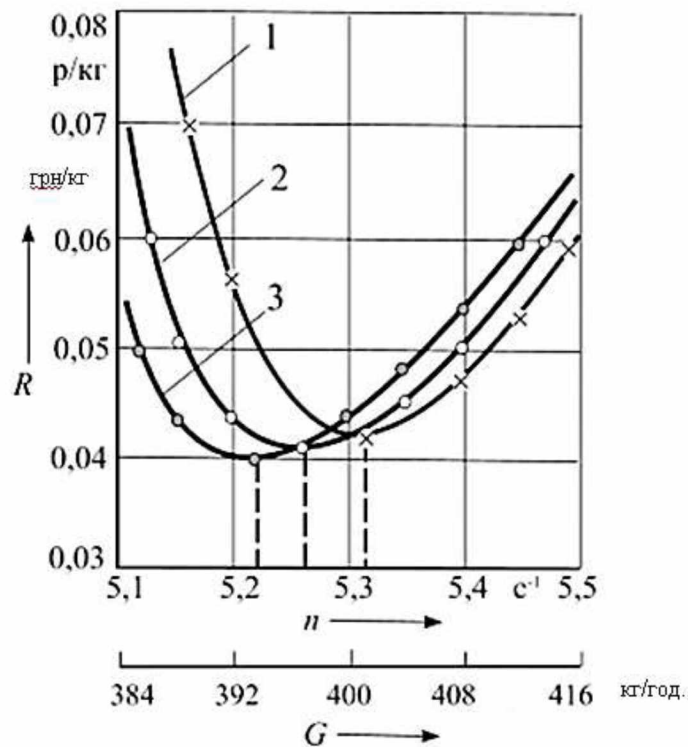
$D = 5973$  Н·м - циліндрична жорсткість решітки,

$w_{\max} = 0,22$  мм - максимальне значення прогину;

$G = 400$  кг/год. – продуктивність при подрібненні;

$P = 5,5$  кВт – встановлена потужність.

Залежності (рис. 2.10) дозволяють перевірити чутливість оптимуму, тобто встановити наскільки будуть суттєві втрати ефективності при відхиленнях від заданого оптимуму. Можливі коливання частоти обертання в межах  $\pm 0,1-0,2$ с<sup>-1</sup> приведуть до збільшення енерговитрат на 1,5-3,5% і втрат прибутку в зв'язку зі збільшенням собівартості фаршу.



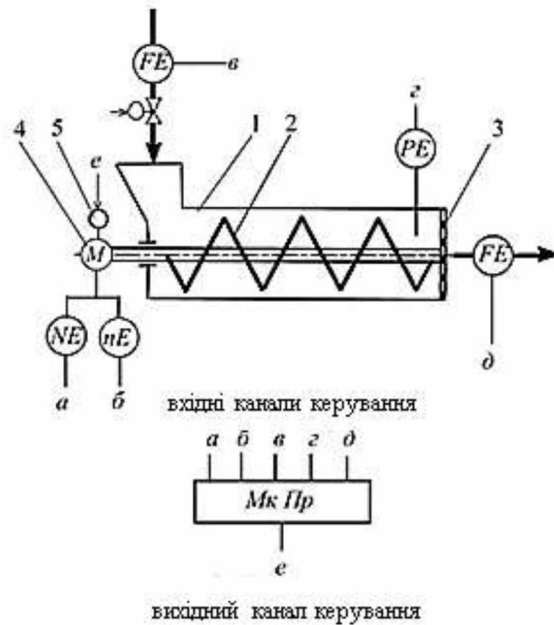
1 - жилована підморожена яловичина; 2 - м'ясо свинини; 3 - м'ясо птиці

Рисунок 2.10 - Залежність витрат електроенергії на одиницю подрібнювальної м'ясної сировини від частоти обертання шнека подрібнювача

За результатами виконаних досліджень запропонована стратегія автоматичної оптимізації процесу подрібнення м'ясної сировини у подрібнювачі (рис. 2.11).

Інформація про хід процесу подрібнення з датчиків передається в мікропроцесор, який безперервно обчислює критерій оптимізації - витрати електроенергії на одиницю маси одержуваного фаршу.

Оскільки між продуктивністю подрібнювача і частотою обертання шнека встановлений однозначний функціональний зв'язок, то безперервно вимірюється частота обертання шнека, а мікропроцесор обчислює величину похідної енергетичних витрат від частоти обертання шнека, визначає знак похідної і якщо  $dR/d\omega > 0$  то мікропроцесор зменшує частоту обертання шнека, а якщо  $dR/d\omega < 0$  то збільшує.



1 - подрібнювач, 2 - шнек, 3 - решітка, 4 - привід, 5 - виконавчий механізм, датчики: *FE* - витрати, *NE* - споживаної потужності, *nE* - частоти обертання, *PE* - тиску; *МкПр* - мікропроцесор

Рисунок 2.11 Система автоматичної оптимізації процесу подрібнення м'ясної сировини

При збільшенні тиску сировини на решітку більше допустимого значення включається реверс приводу до вирівнювання тиску при зниженні витрати м'ясної сировини. При технологічному збої подрібнювач повністю відключається і піддається очищенню.

*Висновок.* Обґрунтовано можливість екстремального управління продуктивністю подрібнювача за мінімальною величиною питомих енерговитрат при обмеженнях на технологічні параметри. При цьому відкриваються реальні перспективи у вирішенні завдань раціонального використання енергії у м'ясопереробній промисловості.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Визначення споживаної потужності з використанням перфорованих решіток з комбінованими отворами

Для проведення експерименту було виготовлено перфоровані решітки з різними кутами загострення. Решітки були виготовлені із зносостійкої сталі марки ШХ15СГ (рис. 3.1). Діаметр вхідного отвору решітки  $d = 4$  мм, при різних кутах загострення  $\beta = 90^\circ$ ,  $\beta = 80^\circ$ ,  $\beta = 70^\circ$ ,  $\beta = 60^\circ$ ,  $\beta = 50^\circ$ . Діаметр решіток 54 мм, кількість робочих отворів 18 шт. Частоти обертання 200, 300, 400, 500, 600 об/хв. Об'єктом дослідження було м'ясо яловичини, свинини і птиці.

Результати проведених експериментів представлені у **таблиці Б1 додатку Б**. За результатами отриманих даних було побудовано графіки (рис. 3.1 -3.4).

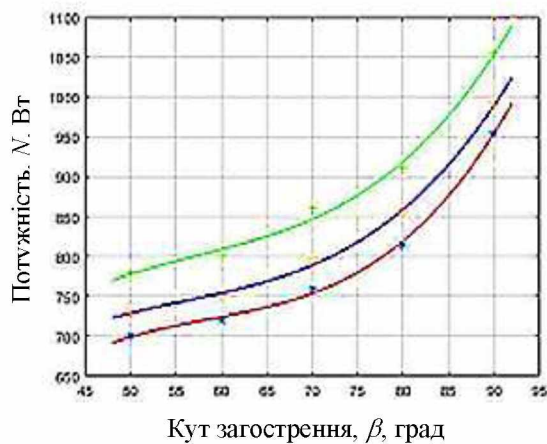


Рисунок 3.1 – Графік залежності споживаної потужності від кута загострення решітки: + жилована яловичина;  $\Delta$  м'ясо свинини; \* м'ясо птиці

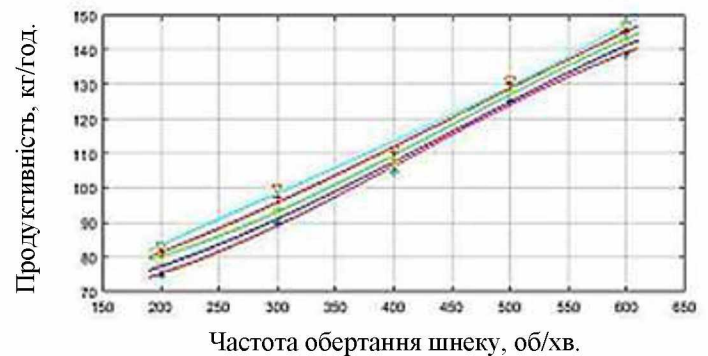


Рисунок 3.2 – Графік залежності продуктивності подрібнювача від частоти обертання шнеку для перфорованих решіток з різним кутом загострення робочих отворів  $\Delta$  -  $\beta = 90^\circ$ , + -  $\beta = 80^\circ$ ,  $\diamond$  -  $\beta = 70^\circ$ ,  $\circ$  -  $\beta = 60^\circ$ , \* -  $\beta = 50^\circ$

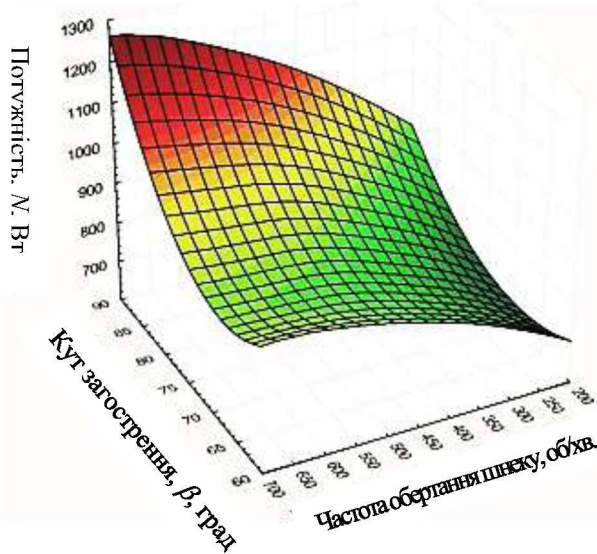


Рисунок 3.3 – Графік залежності потужності від кута загострення перфорованої решітки та частоти обертання шнеку

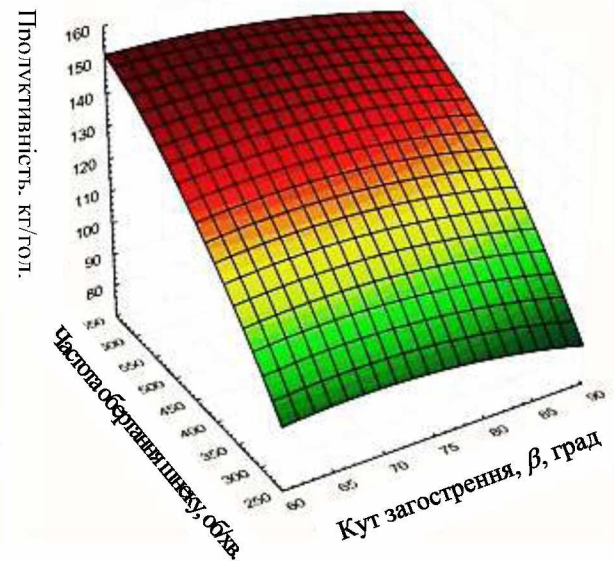


Рисунок 3.4 – Графік залежності продуктивності подрібнення від частоти обертання шнеку та кута загострення

Експерименти показали, що при використанні перфорованої решітки з кутом різання  $\beta = 90^\circ$  потужність, що витрачається на подрібнення продукту в середньому на 14,6 % більше, ніж при використанні решітки з кутом різання  $\beta = 80^\circ$ , і на 26,7% більше, ніж при решітці з кутом різання  $\beta = 50^\circ$ . При цьому при використанні решіток з  $\beta = 90^\circ$  продуктивність у середньому менша на 4%, ніж при  $\beta = 80^\circ$  і на 6% менша, ніж при  $\beta = 50^\circ$ . Також було встановлено, що середня потужність подрібнення жилованої яловичини на 11% і 18% більше, ніж подрібнення м'яса свинини та м'яса птиці відповідно.

Крім того, при використанні решіток з гострим кутом різання якість подрібненого продукту суттєво підвищилася, що виявилось в практичній відсутності перетертості м'яса. Варто відмітити що при використанні решітки з гострим кутом різання зник такий негативний факт, як намотування жил на хрестоподібний ніж.

### 3.2 Визначення споживаної потужності з використанням хрестоподібних ножів різної форми

Для проведення експерименту було виготовлено два хрестоподібні ножа. Перший ніж містить ступицю з посадковим отвором, на якій розміщені лопаті, що мають у поперечному перерізі форму паралелограма з різальними лезами на протилежних поверхнях, крім того, лопаті мають площу поперечного перерізу, що зменшується від ступиці до периферії. Лопаті другого хрестоподібного ножа мають у всіх поперечних перерізах форму класичного клина з кутом  $\alpha$  при вершині не більше  $15^\circ$ . При цьому контакт лопаті хрестоподібного ножа та решітки здійснюється по різучій кромці лопаті. Кут  $\beta$  між поверхнею лопаті, зверненою до поверхні різання решітки та решіткою дорівнює  $3^\circ$ .

Хрестоподібні ножі були виготовлені зі сталі 65Г, відпал при температурі  $790\ldots 815^\circ\text{C}$ , загартовані при температурі  $800\ldots 815^\circ\text{C}$  до твердості  $60\ldots 62 \text{ HRC}$ , охолоджені в олії, відпущені при температурі  $160\ldots 175^\circ\text{C}$ .

Результати проведеного експерименту представлені у **таблиця Б2 додатку Б**. Графічно залежності наведені у рисунках 3.5-3.8).

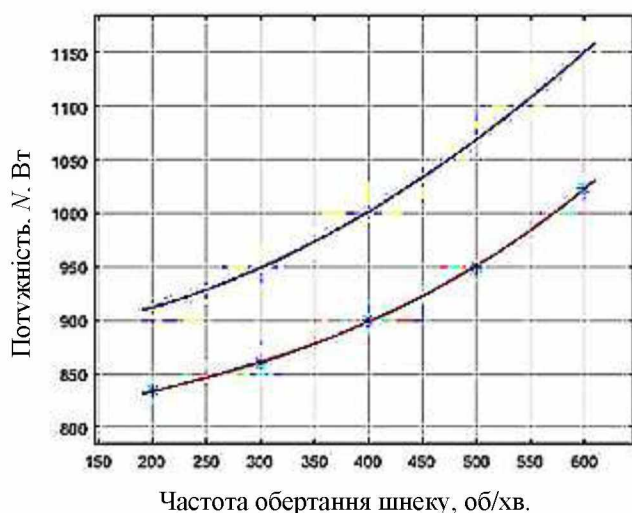


Рисунок 3.3 – Графік залежності споживаної потужності від частоти обертання шнека: ніж у формі паралелограма; \*ніж з лопатями у формі клина

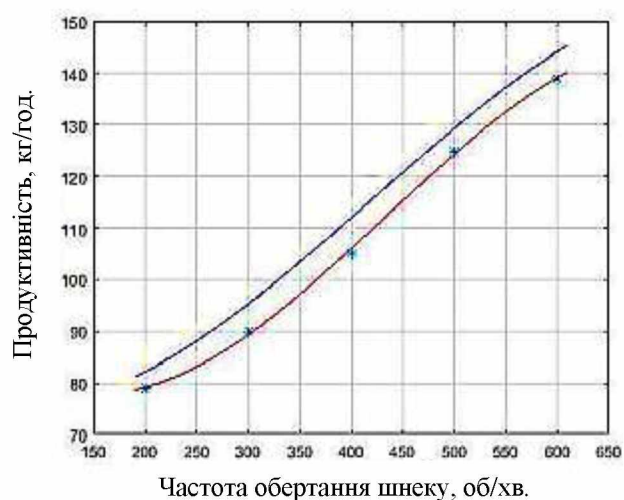


Рисунок 3.3 – Графік залежності продуктивності подрібнювача від частоти обертання шнека: ніж у формі паралелограма; \*ніж з лопатями у формі клина

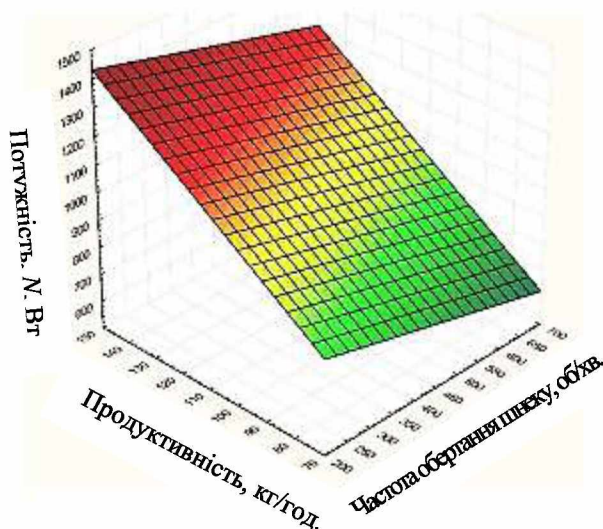


Рисунок 3.4 – Графік залежності потужності та частоти обертання шнека ножа з лопатями у формі паралелограма

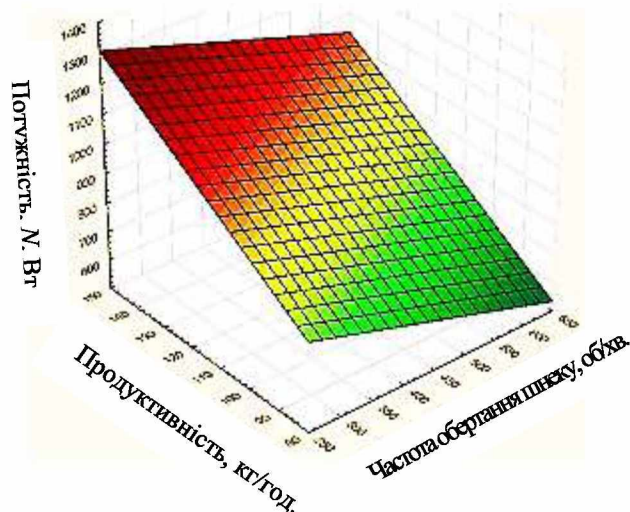


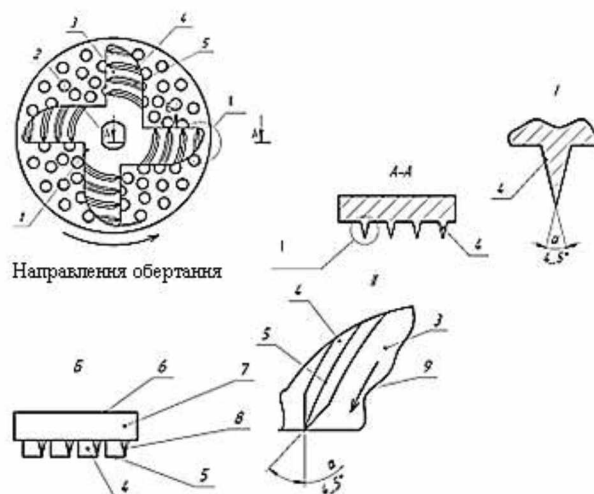
Рисунок 3.5 – Графік залежності потужності, продуктивності та частоти обертання шнека ножа з лопатями у формі клина

Проведений експеримент показав, що споживана потужність при подрібненні м'ясної сировини ножом з лопатями у формі паралелограма в середньому більше на 12,5%, ніж при використанні ножа з лопатями у формі клину, а продуктивність нижче на 4,24%.

### 3.3 Визначення споживаної потужності з використанням хрестоподібних ножів з різальними лезами на задній поверхні

Для проведення експерименту був виготовлений хрестоподібний ніж з лопатями, на задніх поверхнях яких є різальні леза, розташовані по дугах концентричних кіл (рис. 3.6).

У ході проведення експерименту були випробувані ножі з різальними лезами на задніх поверхнях лопатей та без таких лез. Ножі відрізнялися один від одного тільки наявністю або відсутністю різальних лез на задніх поверхнях лопатей.



1 - ступиця ножа; 2 - посадковий отвір; 3 - лопать ножа; 4 - різальне лезо;  
5 - ріжуча кромка; 6 - ріжуча кромка на поверхні лопаті; 7 - передня поверхня лопаті; 8 - ріжуча кромка на передній поверхні леза, розташованого на спинці лопаті; 9 - напрямок обертання лопаті

Рисунок 3.6 – Конструкція хрестподібного ножа з лопатями, на задніх поверхнях яких є різальні леза

Рухливі ножі були виготовлені зі сталі 65Г, відпалені при температурі 790...815 °С, загартовані при температурі 800...815 °С до твердості 60...62 HRC, охолоджені в олії, відпущені при температурі 160...175 °С.

У процесі випробування ножів постало питання про оптимальну кількість різальних лез на задніх поверхнях лопатей (на одиницю довжини в радіальному напрямку). Випробування показали, що чим щільніше розташовані леза (що більше на одиницю довжини), тим енергоефективність ножа вище.

Але щільне розміщення різальних лез на задній поверхні лопаті не повною мірою відповідає вимогам до харчових машин та апаратів, а саме: «...не повинно бути щілин, раковин, западин, ..., важкодоступних для промивання, очищення та санітарної обробки».

У вузьких западинах між різальними лезами продукт, що подрібнюється затримується, що ускладнює процес очищення ножа.

Оптимальним, за результатами випробувань, слід вважати наявність одного різального леза на довжині 7...10 мм. Енерговитрати на процес

подрібнення м'яса при використанні хрестоподібних ножів запропонованої конструкції (758 Вт) виявилися на 17,6% нижчими в порівнянні з енерговитратами на процес подрібнення з ножами без різальних лез на задніх поверхнях лопатей (920 Вт).

Безумовно, що на подрібнення продукту різальними лезами, розташованими на задніх поверхнях лопатей ножа, витрачається енергія. Енергія також витрачається на остаточне подрібнення продукту ріжучими кромками лопатей ножа спільно з ріжучими кромками отворів решітки. Сумарні витрати енергії на подрібнення продукту ножами запропонованої конструкції виявилися меншими, ніж витрати енергії на остаточне подрібнення продукту без попереднього подрібнення.

### **3.4 Дослідження впливу часу експлуатації перфорованих решіток на температуру в зоні різання**

Досліджувалося чотири перфоровані решітки різного ступеня зношування (с часом експлуатації 0, 9, 14, 18 годин). На підприємстві перфоровані решітки замінюються та при необхідності передаються на переточування кожні 2 зміни (18 годин роботи подрібнювача) (рис. 3.7).

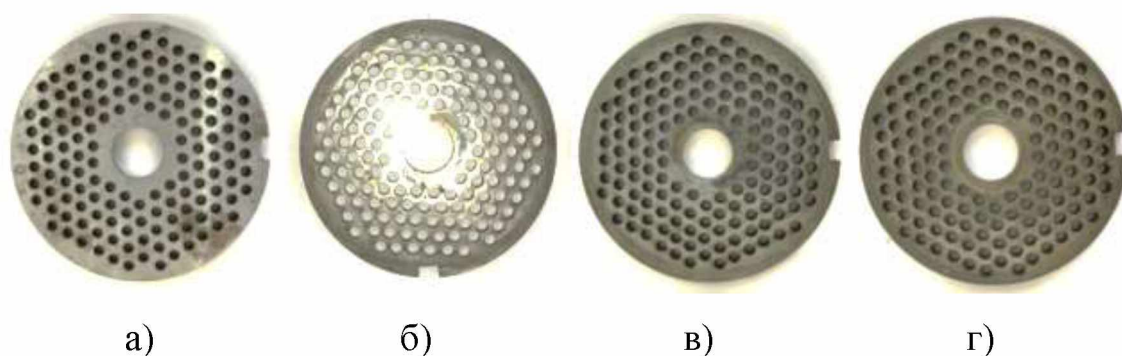


Рисунок 3.7 – Перфоровані решітки з різним часом експлуатації:  
а) 0 годин; б) 9 годин; в) 14 годин; г) 18 годин

Решітки були виготовлені з інструментальної легованої сталі марки 9ХС та відпалені при температурі 820...850°C. Після чого у решітках були просвердлені отвори діаметром 2 мм, що йдуть до ріжучої кромки від

зовнішньої площини решітки. Далі решітки були загартовані при температурі 850...870°C до твердості 60...62 HRCe, охолоджені в олії, відпущені при температурі 160 ... 175 °C.

Для визначення температури в зоні різання використовувався цифровий мультиметр DT-838 у комплекті з термопарою. Термопара вставлялася в просвердлений глухий отвір решітки.

Експеримент складався з 2 частин:

- визначення впливу перебоїв у подачі сировини на температуру у зоні різання за різних швидкостей обертання шнека;
- визначення впливу зносу перфорованої решітки на температуру в зоні різання подрібнювача.

При проведенні першої частини експерименту включали подрібнювач при встановленому числі обертів шнека та знімали показання через кожні 10 секунд протягом 2 хвилин. Далі частоту обертання шнека змінювали і знімали показання. Експеримент проводився для частот: 400, 600, 800 об/хв. Температура подрібненої сировини була в межах 2-3°C.

Результати проведених експериментів представлені у **таблиці Б3 додатку Б**.

За результатами експерименту був побудовано графік, представлений на рисунку 3.8.

Проведений експеримент показав, що при перебоях у подачі сировини до 2 хвилин температура в зоні різання підвищується до 60°C. Цей факт негативно вплине на якість подрібненої сировини. При відновленні подачі сировини нагрівання подрібнювального продукту, негативно вплине на фізико-хімічні та мікробіологічні властивості подрібненого продукту. Для запобігання цьому фактору рекомендується вимикати подрібнювач навіть при короткочасних перебоях у подачі сировини.

У другій частині експерименту було визначено вплив зносу перфорованої решітки на температуру в зоні різання подрібнювача.

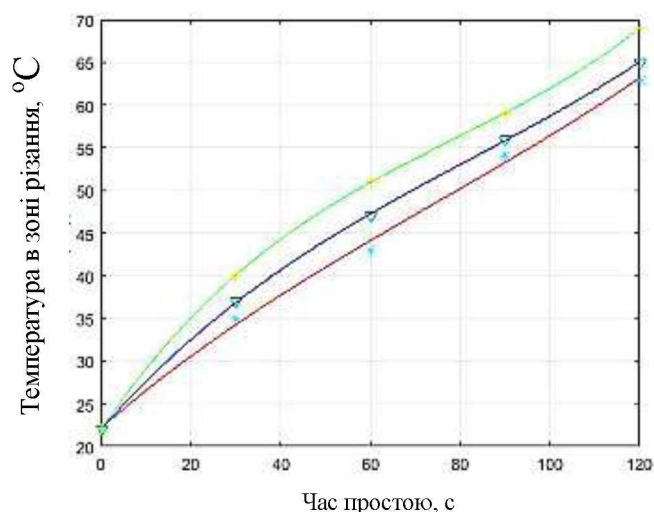


Рисунок 3.8 - Залежність температури в зоні різання від часу простою подрібнювача без сировини: \* 400 об/хв; Δ 600 об/хв; + 800 об/хв.

У подрібнювачі були по черзі встановлені решітки з періодом роботи 0, 9, 14, 18 годин. Для кожної решітки було виміряно значення температури в зоні різання. Показання знімалися при усталеному значенні. Результати проведеного експерименту наведено в таблиці 3.1, графічне зображення на рисунку 3.9.

Таблиця 3.1 – Результати експерименту по визначенню залежності температури в зоні різання від часу експлуатації перфорованої решітки

| Час експлуатації перфорованої решітки, год. | Температура в зоні різання, °C |
|---------------------------------------------|--------------------------------|
| 0                                           | 5,2                            |
| 9                                           | 6,1                            |
| 14                                          | 12,9                           |
| 18                                          | 23,6                           |

Результати експерименту показали різкий стрибок температури в зоні різання при експлуатації перфорованої решітки більше 9 годин (1 зміна). На підприємстві решітки експлуатуються 18 годин (2 зміни), при цьому температура в зоні різання досягає 236 °C. Нагрівання подрібненого продукту викликає у ньому небажані фізико-механічні зміни, зміна водно-жиро-білкової фракції, а також бактеріологічне обсіменіння подрібненого продукту.

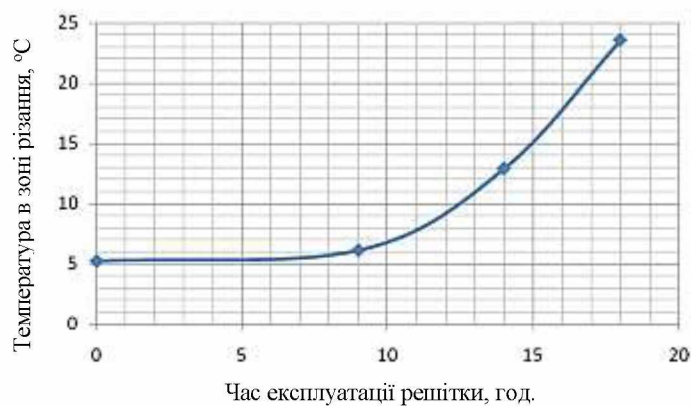


Рисунок 3.9 - Залежність температури в зоні різання від часу експлуатації перфорованої решітки

Температура фаршу при добре заточених ножах і решітках не повинна підвищуватися вище 8-10°C. При підвищенні температури у зоні різання жири витоплюються, харчова цінність продукту знижується через розпад жирних кислот. При підвищенні температури відбувається коагуляція білків. Вони втрачають можливість утримувати воду. При нагріванні вуглеводів з невеликою кількістю води відбувається їхня клейстеризація, яка прискорюється з підвищенням температури.

Очевидно, що підвищення температури в зоні різання, в ході даного експерименту, пов'язана зі зносом перфорованої решітки.

Своєчасне визначення критичної точки, коли хрестоподібний ніж та перфорована решітка перестають розрізати продукт і починають його розривати дуже важлива. Зношування ріжучих кромки призводить до руйнування клітинної структури харчового матеріалу, що вкрай негативно позначається на якості подрібнюваного продукту. Крім того, при подрібненні м'ясного продукту вичавлюється м'ясний сік, який має високу харчову та біологічну цінність.

Для запобігання перерахованим вище факторам необхідно своєчасне оперативне визначення ступеня зносу ріжучих кромки робочого органу подрібнювача і заміна зношених деталей або вузла.

### 3.5 Визначення органолептичних та фізико-хімічних показників якості м'ясного фаршу та ковбаси напівкопченої

Відповідно до ДСТУ 4823.2:2007 «Продукти м'ясні. Органолептичне оцінювання показників якості» органолептичними показниками фаршу м'ясного є: зовнішній вигляд, запах, колір, ступінь подрібнення. За органолептичними показниками фарш з яловичини повинен відповідати даному стандарту. За мікробіологічними показниками, вміст токсичних елементів, антибіотиків, пестицидів, радіонуклідів, діоксинів фарш не повинен перевищувати норм, встановлених ТР ТЗ 034/2013 (Технічний регламент безпеки м'яса і м'ясної продукції).

При проведенні випробувань значення показників ковбаси напівкопченої з яловичини «Салям з яловичини» повинні відповідати вимогам ДСТУ 4435:2005 та ТР ТЗ 034/2013.

Результати випробувань фаршу з яловичини показані в **таблиці Б4 додатку Б**.

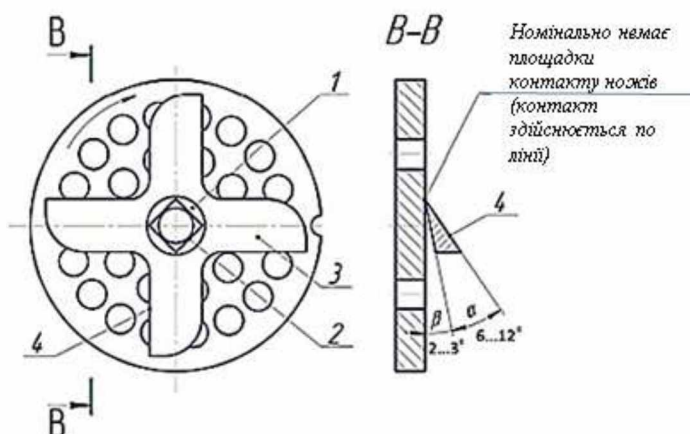
Випробування проводилися з урахуванням поправок на температуру, вологість та тиск навколишнього середовища. Умови проведення випробувань: температура 20°C, вологість 51%, тиск 729 мм рт. ст.

Органолептичні та фізико-хімічні показники зразків ковбаси напівкопченої «Салям з яловичини» представлені в **таблиці Б5 додатку Б**.

Аналіз даних, зазначених у **таблицях Б4 та Б5 додатку Б** свідчить, що фарш і ковбаса напівкопчена, отримані запропонованим методом, повністю задовольняють вимогам ДСТУ 4435:2005 та ТР ТЗ 034/2013.

### 3.6 Розробка конструкції хрестоподібного ножа з лопатями у формі клина

З метою підвищення енергоефективності процесу подрібнення пропонується використовувати хрестоподібний ніж, лопаті якого мають у всіх поперечних перерізах форму класичного клина з кутом при  $15^\circ$  (рис. 3.13).



1 - ступиця; 2 - квадратний отвір; 3 - лопать ножа; 4 - ріжуча кромка лопаті;  
 $\alpha$  - кут загострення клина;  $\beta$  - кут між нижньою поверхнею лопаті, зверненої до решітці та поверхнею різання решітки

Рисунок 3.13 - Схема взаємодії хрестоподібної ножа і решітки

Щоб зменшити силу тертя, поверхня клина, контактуюча з поверхнею решітки, слід заточувати під певним кутом (наприклад,  $2...3^\circ$ ). Це виключає контакт хрестоподібного ножа (номінально) та перфорованої решітки по площадці певних розмірів.

Реально виключити контакт між ножом та решіткою не є можливим. Тому, з метою зменшення сили тертя між рухомим ножом та решіткою, реальний контакт може бути прямолінійним або криволінійним (за формою ріжучої кромки на лопаті хрестоподібного ножа).

Проведемо теоретичне обґрунтування конструктивних параметрів хрестоподібного ножа (рис.3.14).



- на ріжучу кромку діють сили різання  $F_{\text{різ}}$  (розрізання на частини продукту, руйнування цілісності продукту, подрібнення продукту);

- на клин діє сила  $Q$ , що здійснює процес подрібнення. Ця сила штовхає лопат вперед, обертає хрестоподібний ніж.

Виходячи з умови рівноваги клину, можна написати

$$Q \geq F_{\text{різ}} + F_{\text{тер1}} + P_{\text{гор}} \quad (3.1)$$

Величина сили різання  $F_{\text{різ}}$  залежить від фізико-механічних властивостей подрібнювального продукту.

Сила тертя  $F_{\text{тер1}}$  визначається за формулою:

$$F_{\text{тер1}} = W \cdot f, \quad (3.2)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя (сталь по сталі - 0,10 ... 0,15);

$W$  - нормальна реакція на підставі клина (вона складається із зусиль  $N$  ' тиску притискання затискної гайкою решітки до ножа та вертикальної складової  $W'$ ).

Горизонтальна складова  $P_{\text{гор}}$  може бути визначена за формулою (для простоти викладення матеріалу опускаємо проміжні розрахунки)

$$P_{\text{гор}} = \frac{N}{\cos \varphi_2} \cos(\alpha + \varphi_2) \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_2) \quad (3.3)$$

або

$$P_{\text{гор}} = \frac{N}{\cos \varphi_2} \cos(\alpha + \varphi_2),$$

де  $\varphi_2$  – кут тертя на скосі клину.

Розрахунки показують, що, наприклад, за інших рівних умов, лише зменшення кута загострення клина  $\alpha$  з  $35^\circ$  до  $5^\circ$  горизонтальна складова  $P_{\text{гор}}$  зменшується майже вчетверо ( $\approx 3,7$  рази).

Отже, з точки зору енергоефективності та якості подрібнення харчового продукту лопат хрестоподібного ножа у всіх поперечних перерізах повинна мати форму клина, причому з кутом загострення дещо більшим кута тертя (метал по металу), тобто  $\alpha = 15^\circ$ .

Враховуючи, що практично немає тиску з боку відрізаних шматочків на лопаті ножа, силою тертя між лопатями ножа і відрізаними шматочками з подрібнювального продукту можна знехтувати.

Що ж до сил тертя між хрестоподібним ножем і перфорованою решіткою, то ними знехтувати не можна.

Одна поверхня клина, що контактує з подрібнювальним продуктом має бути плоскою, а не комбінованою. Інша поверхня клина, звернена до решітки, також має бути плоскою. Але, з метою зменшення величини сил тертя між лопатями ножа та решіткою (метал по металу), реальний контакт рухомого ножа та решітки пропонується здійснювати лише по ріжучих кромках лопатей рухомого ножа, тобто відповідно до форм ріжучих кромок – прямолінійний чи криволінійний.

Визначаючи величину кута загострення  $\alpha$  клину, насамперед необхідно відштовхуватися від умов його роботи у подрібнювачі.

Можна розглядати лопать хрестоподібного ножа як односкосий клин з тертям на двох поверхнях, на який з боку шнека оброблюване середовище чинить тиск (рис. 3.15).

При будь-якому куті скосу  $\alpha$  затиснутий клин прагне виштовхнути сила зворотної дії  $P_{гор}$ , що є горизонтальною складовою нормальної реакції  $N$ ;  $W$  - її вертикальна складова.

Силі  $P_{гор}$  протидіють сила тертя  $F_1$  на основі клину та горизонтальна складова  $F'$  сили тертя  $F$  на похилій поверхні клину.

Умову рівноваги клина може бути визначено за формулою:

$$F' + F_1 \geq P_{гор} \quad (3.4)$$

Із рисунку 3.15 сила тертя визначається як:

$$F = N \cdot f = N \cdot \operatorname{tg} \varphi = W \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \alpha}, \quad (3.5)$$

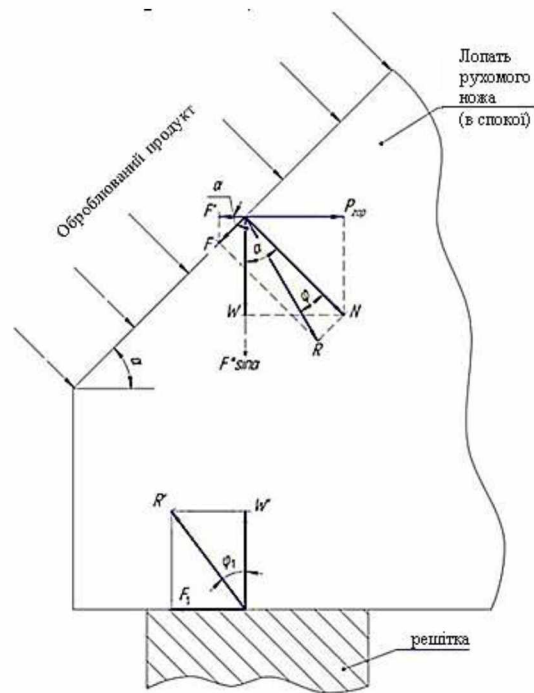


Рисунок 3.15 – Схема для з'ясування умов самогальмування клина (клин знаходиться в зажатому стані і на нього діють сили, що намагаються витолкнути його)

Її горизонтальні складова:

$$F' = F \cdot \cos \alpha = W \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \alpha} \cos \alpha = W \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (3.5)$$

Вертикальна складова сили тертя  $F$ , що дорівнює  $F \cdot \sin \alpha$ , підсумовується з вертикальною складовою  $W$  нормальної сили  $N$ . Відповідно величина нормальної реакції на основі клину:

$$W' = W + F \cdot \sin \alpha = W + W \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \alpha} \cdot \sin \alpha = W + W \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \cdot \operatorname{tg} \varphi = W + W \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi = W \cdot (1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi), \quad (3.6)$$

а сила тертя на основі клину:

$$F_1 = W' \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = W \cdot (1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot \operatorname{tg} \varphi_1. \quad (3.7)$$

Формула (3.4) для граничного випадку настання рівності сил, що утримують клин у затиснутому стані та сил, які прагнуть виштовхнути його у горизонтальному напрямку, набуває вигляду:

$$P_{\text{гор}} = F' + F_1. \quad (3.8)$$

Підставивши в цю формулу значення сил, отримаємо:

$$F_{\text{сп}} = W \cdot \operatorname{tg} \alpha = W \cdot \operatorname{tg} \varphi + W \cdot (1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \quad (3.9)$$

або (3.10)

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$$

При малих кутах  $\alpha$  добуток  $\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$  близький до нуля, а величина тангенсів кутів близька до величини відповідних кутів у радіанах.

Тоді умова граничної рівноваги клина виразиться рівністю

$$\alpha = \varphi + \varphi_1. \quad (3.11)$$

Лопать хрестоподібного ножа зверху дотикається оброблюваного харчового продукту (м'яса).

Коефіцієнт тертя на поверхні клина, зверненої до шнека, коливається в межах  $f = 0,12 \dots 0,36$  (харчовий продукт - метал), а на поверхні, зверненої до решітки –  $f_1 = 0,10 \dots 0,15$  (метал по металу) .

Якщо коефіцієнт тертя однієї поверхні буде  $f = \operatorname{tg} \varphi = 0,12$ , то  $\varphi = 6^\circ 50'$ , а на іншій поверхні  $f_1 = \operatorname{tg} \varphi_1 = 0,10$ , то  $\varphi_1 = 5^\circ 43'$ . Тоді умова рівноваги клина буде дотримуватися при куті  $\alpha = \varphi + \varphi_1 = 6^\circ 50' + 5^\circ 43' = 12^\circ 33'$ .

Результати виконаних розрахунків свідчать, що з точки зору енергоефективності процесу подрібнення харчового продукту, лопаті хрестоподібного ножа повинні мати форму класичного клина у всіх поперечних перерізах. Причому кут загострення  $\alpha$  при вершині клину повинен бути  $15^\circ$ .

Розроблений хрестоподібний ніж з лопатями, на задніх поверхнях якого є ріжучі леза, розташовані по дугах концентрованих кіл, дозволяє сумістити попереднє подрібнення продукту із кінцевим, що підвищує енергоефективність механізму на 17,6% в порівнянні з лопатями у формі паралелограму і підвищити продуктивність на 4,24 %. Цей процес відбувається наступним чином: при обертанні ножа подрібнювальний продукт насувається на нього під тиском вздовж шнека, при цьому ріжучі леза, розташовані на задній поверхні, здійснюють попереднє різання продукту. Далі продукт, що зазнав попереднього подрібнення, притискається до перфорованої решітки, де піддається остаточному подрібненню передньою ріжучою кромкою ножа.

*Висновки.* Визначені закономірності процесу подрібнення м'ясної сировини хрестоподібним ножом, поперечні перерізи якого мають форму класичного клина з кутом при вершині не більше  $15^\circ$ , які показали ефективність його використання. Споживана потужність при подрібненні м'ясної сировини таким ножом на 12,5 % нижча ніж при подрібненні ножом-прототипом (у формі паралелограма).

Розроблений хрестоподібний ніж з лопатями, на задніх поверхнях якого є ріжучі леза, розташовані по дугах концентрованих кіл, який дозволяє сумістити попереднє подрібнення продукту із кінцевим, що підвищує енергоефективність механізму на 17,6% в порівнянні з лопатями у формі паралелограму і підвищити продуктивність на 4,24 %.

В результаті досліджень було оптимізовано кількість різальних лез на задніх поверхнях лопатей та щільність їх розташування: наявність одного різального леза на довжині 7...10 мм.

Проведений аналіз органолептичних та фізико-хімічних показників якості м'ясного фаршу та ковбаси напівкопченої, який показав фарш і ковбаса напівкопчена, отримані запропонованим методом, повністю задовольняють вимогам ДСТУ 4435:2005 та ТР ТЗ 034/2013.

## 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розроблені конструкція хрестоподібного ножа та перфорованої решітки подрібнювача м'ясної сировини дозволяють зменшити енерговитрати процесу подрібнення не знижуючи якості готової продукції. Рекомендовано застосування даних конструкцій у технологічному процесі подрібнення м'ясної сировини.

### 4.1 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза являє собою врегульовану нормами діяльність експертів по аналізу, перевірці і оцінці документації об'єктів і рішень, на їх відповідність правилам і вимогам охорони навколишнього середовища і раціонального природокористування в цілях попередження можливих негативних наслідків для навколишнього середовища.

Цілі екологічної експертизи [21]:

- забезпечення наукового визначення відповідності проектних рішень сучасним екологічним вимогам перед їх затвердженням в компетентних державних органах;

- попередження можливого негативного втручання на екосистему функціонуючих і проектних об'єктів в процесі її реалізації.

Екологія в сільськогосподарському виробництві займає чинне місце, оскільки здійснюється суттєвий вплив на оточуюче середовище, особливо в наш час і з розвитком нових технологічних процесів, що впроваджуються у виробництво, застосуванням модернізованої техніки в Україні.

Спрямована екологічна експертиза на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам та вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення

екологічної безпеки.

Завдання екологічної експертизи полягають у регулюванні суспільних відносин в галузі екологічної експертизи для забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища, раціонального використання та відтворення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян держави.

Мета екологічної експертизи – запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на природне середовище та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях та об'єктах.

Вимоги до проведення екологічної експертизи такі:

1. Дотримання пріоритету права суспільства на сприятливе екологічне середовище.
2. Гармонійне поєднання екологічних та економічних інтересів.
3. Екологічна сутність об'єктів з вимогами охорони довкілля.
4. Комплексна еколого-економічна оцінка існуючого чи передбачуваного впливу на навколишнє середовище.
5. Альтернативні варіанти зменшення негативних впливів об'єктів експертизи на оточуюче середовище.
6. Суворе дотримання законодавства та державних норм природокористування.
4. Підготовку висновків.

Технологія сільськогосподарського виробництва має базуватися на екологічно-обґрунтованих раціональних нормах [21].

Відповідно до теми роботи об'єктом забруднення навколишнього середовища на підприємствах м'ясної промисловості є викиди в атмосферу: парогазові і газопилові, бувають при роботі котельних, димогенераторів, барометричних конденсаторів. Крім того, джерелами забруднення повітря

являється автотранспорт.

Тому, щоб запобігти забрудненню навколишнього середовища, викиди піддають очищенню. Концентрація шкідливих речовин в повітрі, які видаляються вентиляцією із приміщення, не повинна перевищувати встановлених санітарних норм проектування м'ясної промисловості.

Забруднене повітря, видалене із виробничих приміщень місцевими механічними вентиляційними установками, перед викидом піддається очищенню в циклонах і фільтрах. Парогазові суміші (сокові пари) піддаються очищенню водою в барометричних конденсаторах і адсорберах. Замість води застосовують також хлоровмісні розчини (хлорне вапно, гіпохлорид кальцію). Гази, що погано пахнуть, піддаються обробленню термічним методом в топках котелень чи спеціальних печах.

Для того щоб зменшити забруднення навколишнього середовища, необхідно не допускати неповного згорання палива котелень, встановити газоочисні фільтри, золоуловлювачі, використовувати тільки рідке і газоподібне паливо.

Автотранспорт, що використовується на підприємстві, повинен мати справні системи запалювання і живлення, глушники обладнують фільтрами очищення вихлопних газів.

Позитивний вплив на стан внутрішнього середовища має озеленення території підприємства. Вся територія, яка не занята будівлями і дорогами, повинна бути озеленена. Зелені насадження збагачують повітря киснем, а також здатні поглинати велику кількість шкідливих газів і очищати повітря від пилу.

Отже, дані заходи забезпечать мінімальний вплив на екологічну систему під час переробки м'ясної сировини.

## 4.2 Охорона праці

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому покращенню умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Домінуючими причинами формування несприятливих умов праці залишаються недосконалі технології, машини і механізми, їхня несправність, невикористання засобів захисту, порушення правил безпеки, режимів праці і відпочинку.

Основним шляхом попередження механічних травм є застосування засобів колективного захисту. Захисті пристрої встановлюються між небезпечним виробничим чинником і працюючим. По конструкції вони розділяються на кожухи, двері, бар'єри, екрани і щити, а за способом виготовлення на суцільні, не суцільні, прозорі, комбіновані.

Широко використовуються для попередження травматизму різноманітні запобіжні, блокуючі та обмежувальні пристрої. Ці пристрої спрацьовують при порушенні технологічного процесу, помилкових діях працюючого і унеможливають його травмування.

Широко застосовуються з метою запобігання виробничого травматизму різноманітні знаки безпеки і сигнальні кольори. Вони призначені для привертання уваги працюючого до потенційно небезпечних зон, наявних на

устаткуванні, технологічних лініях, на ділянках виробничого приміщення з метою попередження виробничих травм.

Вимоги безпеки при переробці м'ясної сировини.

Вовчок використовують для подрібнення м'яса та жиросировини. Небезпечною зоною вовчка являється шнек і ножі.

Для уникнення попадання рук до шнека сировина в вовчок подається за допомогою спусків або механізовано. Конструкція завантажувального механізму повинна забезпечувати безпеку в роботі. Завантажувальна головка вовчка, який завантажується вручну, забезпечується завантажувальним кільцем. Подавати в нього м'ясо слід товкачем із дерева твердих порід. Велику небезпеку представляють ножі, що обертаються, тому для зняття решіток передбачено спеціальний засіб для виймання із горловини вовчка решіток і ріжучого механізму.

Перед роботою перевіряють справність пристосування для виймання ріжучого механізму, відсутність тріщин на циліндрі, шнеці, на ножах і решітці; якість заточування ножів і решіток, справність затворів бункера або іншого завантажувального механізму.

Перед пуском в роботу вовчка завантажувальну воронку заповнюють м'ясом. Для уникнення перегріву електродвигуна вовчок завантажують рівномірно і однорідною сировиною.

Під час роботи вовчка забороняється опускати в завантажувальну воронку руки для утримання, направлення або витискування сировини, а також очищати руками решітку вовчка.

Розбирати і збирати вовчок можна тільки при відключеному пусковому механізмі і закінченні обертання по інерції.

Зберігати під час перерви в роботі вовчка будь-які предмети в його циліндрі і завантажувальній воронці заборонено.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на

виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які [22]:

- характеризують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

Для запобігання виробничому травматизму необхідно дотримуватись наступних заходів:

1. Забезпечити працівників засобами індивідуального захисту.
2. Забезпечення наявності засобів колективного захисту.
3. Забезпечити біля кожного робочого місця наявність інструкції по вимогам безпеки та знаки з попереджувальними написами.
4. Своєчасно і якісно провадити інструктажі та навчання працівників з питань охорони праці.
5. Організувати постійний контроль за станом охорони праці.

Виконання запропонованих заходів сприятиме зниженню ризику небезпек, що призведе до зниження рівня виробничого травматизму.

#### **4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень**

В роботі запропонований хрестоподібний ніж з лопатями, на задніх поверхнях яких є різальні леза, розташовані по дугах концентричних кіл. Використання такого ножа сприяє зменшенню енерговитрат на процес подрібнення м'ясної сировини на 17,6%, підвищення продуктивність на 4,24%.

В таблиці 4.1 представлені данні про витрати на виготовленні ножів пропонованої конструкції.

Таблиця 4.1 - Витрати на виготовлення ножів

| Витрати                             | Сума, грн |
|-------------------------------------|-----------|
| Основні матеріали                   | 425       |
| Транспортні витрати                 | 40,2      |
| Основна і додаткова заробітна плата | 328,4     |
| Відрахування                        | 85,4      |
| Накладні витрати                    | 100       |
| Всього                              | 979       |
| Інші витрати                        | 40        |
| Капітальні витрати                  | 1019      |

Оптова ціна 2-х ножів 818 грн.

В таблиці 4.2 наведені вхідні данні для розрахунку техніко-економічних показників.

Таблиця 4.2 - Вихідні дані

| Показники                             | Базовий варіант | Проектний варіант |
|---------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Продуктивність, кг/год.               | 80              | 84                |
| Річний об'єм продукції (вихід 70%), т | 99              | 104               |
| Чисельність робітників, осіб          | 1               | 1                 |
| Середньогодинна тарифна ставка, грн   | 56              | 56                |
| Потужність електродвигуна, кВт        | 0,9             | 0,75              |
| Балансова вартість обладнання, грн    | 17452           | 16634             |

Результати розрахунків показані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Собівартість продукції

| Статті витрат                      | Базовий варіант | Проектний варіант |
|------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Сировина і основні матеріали, грн  | 9730000         | 10080000          |
| Транспортні витрати, грн           | 450000          | 450000            |
| Заробітна плата робітників, грн    | 120000          | 120000            |
| Відрахування, грн                  | 26400           | 26400             |
| Енерговитрати, грн                 | 2376            | 1980              |
| Амортизація обладнання, грн        | 872             | 832               |
| Утримання і поточний ремонт, грн   | 1745            | 1663              |
| Витрати на виготовлення ножів, грн | -               | 1019              |
| Всього, грн                        | 10331393        | 10681894          |
| Собівартість 1 т продукції, грн    | 106509          | 105761            |

Зниження собівартості 1т продукції:

$$\Delta C = 106509 - 105761 = 748 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект:

$$E = (\Delta C + 0,15 \cdot \Delta K) \cdot B_p, \quad (4.1)$$

де  $\Delta C$  – різниця між собівартістю одиниці продукції по базовому і проєктованому варіантах, грн;

$\Delta K$  – річна економія капітальних вкладень, грн;

$B_p$  – річний об'єм виробництва продукції і з застосуванням запропонованих засобів, кг.

$$E = (748 + 0,15 \cdot 201) \cdot 104 = 80912 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 - Техніко-економічні показники

| Затрати                                                                | Базовий<br>варіант | Проектний<br>варіант |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Оптова ціна одного ножа, грн                                           | 409                | 510                  |
| Балансова вартість вовчка, грн                                         | 17452              | 16634                |
| Річне виробництво продукції, т                                         | 99                 | 104                  |
| Потужність електродвигуна, кВт                                         | 0,9                | 0,75                 |
| Енерговитрати, грн/т                                                   | 27                 | 21                   |
| Собівартість 1 т продукції, грн                                        | 106509             | 105761               |
| Річний економічний ефект від<br>використання запропонованих ножів, грн | -                  | 80912                |

Отже, при застосуванні запропонованих конструкцій хрестоподібних ножів з лопатями, на задніх поверхнях яких є різальні леза, розташовані по дугах концентричних кіл очікується зниження енерговитрат на подрібнення 1 т м'ясної сировини на 6 грн, собівартості 1 т подрібненого продукту на 748 грн.

Очікуваний економічний ефект складе 80912 грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Визначено залежність напружень і переміщень від кута заточування напружено-деформованого стану ножа. Встановлено, що деформація ножа пропорційна куту заточування. Для кута заточування  $90^\circ$  переміщення на кромці лопат досягає  $0,136 \cdot 10^{-3}$  мм, що у 1,45 рази більше, ніж для кута заточування  $80^\circ$ , і в 3 рази більше ніж для кута заточування  $30^\circ$ .

2. Встановлено раціональні параметри подрібнення м'ясної сировини в подрібнювачі з хрестоподібним ножом: частота обертання шнека при діаметрі робочих отворів решітки 3,5 мм: жилована підморожена яловичина  $5,32 \text{ с}^{-1}$ ; м'ясо свинини- $5,27 \text{ с}^{-1}$ ; м'ясо птиці- $5,22 \text{ с}^{-1}$ .

3. Встановлено основні закономірності процесу подрібнення м'ясної сировини у подрібнювачах з хрестоподібним ножом, що доводять енергоефективність використання лопатей хрестоподібного ножа у формі класичного клина з кутом загострення при його вершині  $\alpha 15^\circ$  і контакті з поверхнею решітки тільки ріжучими кромками лопаток. Енергоефективність ножа на 10,6% вища, ніж у ножа-прототипу.

4. Розроблено хрестоподібний ніж із лопатями, на задніх поверхнях яких є різальні леза, розташовані по дугах концентричних кіл, який дозволяє поєднати попереднє подрібнення продукту з залишковим, що підвищує енергоефективність механізму 17,6% порівняно з ножом із лопатями у формі паралелограма.

6. Проведено оцінку якості м'ясного фаршу, отриманого на розробленому подрібнювачі з хрестоподібним ножом, та ковбаси напівкопченої, які задовольняють вимогам ДСТУ 4435:2005 та ТР ТЗ 034/20138.

6. Розрахований очікуваний річний економічний ефект від застосування хрестоподібних ножів із лопатями, на задніх поверхнях яких є різальні леза, розташовані по дугах концентричних кіл, який складе 80912 грн.