

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

**«ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ
НАРІЗАННЯ ХЛІБА»**

Виконав:

здобувач освітнього ступеня «Магістр»
освітньо-професійної програми
«Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
денної форми навчання
СУДАК Андрій Вікторович

Керівник:

канд. тех. наук, доцент
ПІДЛІСНИЙ Віталій Володимирович

Оцінка захисту:

Національна шкала _____
Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

« _____ » _____ 20__ р.

Допускається до захисту:

« _____ » _____ 20__ р.

Гарант освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
канд. тех. наук, доцент

_____ **ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович**
(підпис)

З М І С Т

	Стор.
ЗАВДАННЯ.....	4
АНОТАЦІЯ.....	6
РЕФЕРАТ.....	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ НАРІЗАННЯ ХЛІБА.....	11
1.1. Характеристика хлібобулочних виробів.....	11
1.2. Технологія нарізання хліба.....	12
1.3. Аналіз існуючих способів різання.....	13
1.4. Аналіз конструкцій машин для різання хліба.....	18
1.5. Обґрунтування необхідності дослідження, розроблення нової або модернізованої установки.....	24
Задачі дослідження.....	26
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТА В МАТЕРІАЛІ.....	27
Висновок до другого розділу.....	33
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ.....	35
3.1. Розробка експериментальної установки.....	35
3.2. Визначення режимних параметрів роботи установки. . .	37
3.3. Методика проведення дослідження.....	41
Висновок до третього розділу.....	43
РОЗДІЛ 4. ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ХЛІБОРІЗАЛЬНОЇ МАШИНИ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	45

4.1. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів різального інструменту.	43
4.2. Обґрунтування конструкції хліборізальної машини.	51
Висновок до четвертого розділу.	60
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.	62
5.1. Загальні положення.	62
5.2. Організаційні заходи безпеки.	62
5.3. Засоби індивідуального та колективного захисту.	63
5.4. Ризики та заходи їх мінімізації.	63
5.5. Безпека у надзвичайних ситуаціях та розробка алгоритму дій.	64
Висновок до п'ятого розділу.	66
РОЗДІЛ 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ.	67
Висновок до шостого розділу.	75
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	77
ДОДАТКИ	81

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена обґрунтуванню параметрів конструкції та технології роботи установки для нарізання хліба. Метою дослідження є визначення оптимальних характеристик робочих органів та режимів роботи установки для забезпечення високої якості нарізання та збереження структури хлібобулочних виробів. Виконано аналіз існуючих рішень, проведено моделювання процесів нарізання та експериментальні випробування. Отримані результати дозволяють підвищити продуктивність установки та поліпшити точність нарізання. Практичне значення роботи полягає у можливості застосування рекомендацій при розробці та модернізації промислових нарізних машин.

THE SUMMARY

The qualification work is devoted to the justification of the design parameters and technology of the bread slicing machine. The purpose of the research is to determine the optimal characteristics of the working bodies and operating modes of the machine to ensure high quality slicing and preservation of the structure of bakery products. An analysis of existing solutions was performed, modeling of slicing processes and experimental tests were conducted. The results obtained allow to increase the productivity of the machine and improve the accuracy of slicing. The practical significance of the work lies in the possibility of applying the recommendations in the development and modernization of industrial slicing machines.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки, виконаної на 81 аркуші друкованого тексту формату А4, яка вміщує 6 розділів, 17 таблиць, 25 рисунків, 50 формул, 42 найменування використаних джерел і презентаційний матеріал на 15 слайдах.

Метою роботи є обґрунтування та встановлення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів установки для нарізання хліба, які забезпечують стабільний процес різання, підвищену якість нарізаної продукції, зниження деформаційних пошкоджень м'якуша та можливість ефективної роботи обладнання в умовах безперервних потокових ліній хлібопекарського виробництва.

В роботі виконано аналіз сучасних процесів та технічних засобів для нарізання хліба. Виконано моделювання руху ріжучого інструмента в матеріалі. Представлено методику за якою проведено дослідження процесу різання. Виконано обґрунтування параметрів хліборізальної машини на основі результатів досліджень. Розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Виконано техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень. Сформульовані загальні висновки по роботі, складено список використаних джерел та оформлено додатки.

Ключові слова: НАРІЗАННЯ ХЛІБА, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЗУСИЛЛЯ РІЗАННЯ, НАПРУЖЕННЯ ТЕРТЯ, ЯКІСТЬ ЗРІЗУ.

В С Т У П

Актуальність роботи. Хлібопекарська галузь нині функціонує в умовах зростаючої конкуренції та підвищених вимог до якості продукції, що зумовлює необхідність удосконалення кожної технологічної операції. Однією з найбільш критичних стадій виробництва фасованих хлібних виробів є процес їх механічного нарізання. Від параметрів цієї операції залежить цілісність м'якуша, рівномірність товщини скибок, збереження форми виробу та мінімізація відходів. Будь-які порушення у режимах різання призводять до погіршення споживчих характеристик продукції та зниження продуктивності виробництва.

Сучасне хлібопекарське виробництво поступово переходить на потокові технології, де ключовою умовою є стабільна якість нарізаного хліба при мінімальних витратах часу та енергії. Проте більшість існуючих хліборізальних машин не забезпечують ефективного різання свіжих або недостатньо вистояних виробів, що проявляється у зминанні м'якуша, пошкодженні скоринки та підвищених енерговитратах. Обмеження швидкості різання, значне тертя та високе навантаження на різальний інструмент знижують продуктивність ліній та споживчу якість готової продукції.

У зв'язку з цим виникає потреба у створенні та науковому обґрунтуванні конструктивно-технологічних параметрів установки, здатної забезпечити високоякісне різання хліба без тривалої витримки, з мінімальними втратами і можливістю інтеграції в автоматизовані виробничі лінії. Це визначає актуальність дослідження і його значення для підвищення ефективності хлібопекарської галузі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами досліджень. Робота виконувалась у відповідності з Державною науковою програмою “Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі” на 2020-2025 рр. Відповідає напрямкам наукових досліджень кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін інженерно-технічного факультету.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є обґрунтування та встановлення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів установки для нарізання хліба, які забезпечують стабільний процес різання, підвищену якість нарізаної продукції, зниження деформаційних пошкоджень м'якуша та можливість ефективної роботи обладнання в умовах безперервних потокових ліній хлібопекарського виробництва. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

1. Проаналізувати сучасний стан і технічні характеристики існуючих хліборізальних машин, визначити їхні конструктивні недоліки, експлуатаційні обмеження та проблеми, що виникають у виробничих умовах.

2. Дослідити процес різання хлібобулочних виробів із різною структурою м'якуша та скоринки, встановити основні фактори, що впливають на якість та рівномірність нарізання.

3. Обґрунтувати оптимальні параметри роботи ріжучого механізму (частоту коливань ножів, швидкість подавання хліба, зусилля різання), що забезпечують мінімальне утворення крихт та високий ресурс роботи ножів.

4. Розробити заходи з охороно праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень, оцінити їх вплив на продуктивність, енергоспоживання та загальну ефективність виробництва.

Об'єкт досліджень. Процес механічного різання хлібобулочних виробів у технологічних умовах хлібопекарських підприємств.

Предмет досліджень. Закономірності впливу конструктивних параметрів різального механізму та режимів роботи установки на якість різання, зусилля взаємодії ножа з продуктом і технологічну ефективність процесу.

Методи досліджень. Для досягнення мети роботи застосовано комплекс методів, що забезпечують всебічне вивчення процесу нарізання хліба та обґрунтування параметрів різального обладнання. Аналітичні методи – використані для опрацювання наукових джерел, аналізу існуючих конструкцій

хліборізальних машин та виявлення їхніх недоліків. Теоретичне моделювання – застосовано для розроблення математичної моделі процесу різання, визначення питомих і сумарних зусиль та дослідження впливу параметрів ножа на якість зрізу. Експериментальні методи – використані для визначення фізико-механічних властивостей хліба (модуль пружності, питомі навантаження, напруження тертя) та встановлення допустимих швидкостей різання. Інженерні розрахунки – проведено для визначення зусиль різання, потужності приводу та оптимальних параметрів роботи стрічкових ножів. Графоаналітичні методи – застосовані для побудови залежностей між технологічними параметрами та вибору раціональних режимів роботи машини.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані у роботі результати мають прикладний характер і можуть бути використані при проектуванні та модернізації обладнання для нарізання хлібобулочних виробів. Розроблені конструктивно-технологічні рішення дозволяють підвищити ефективність процесу різання за рахунок зменшення питомих навантажень на поверхню ножа, оптимізації геометричних параметрів різального інструмента та вибору раціональних режимів його роботи.

Запропонована конструкція хліборізальної машини забезпечує можливість нарізання хліба з мінімальним часом витримування після випікання, що сприяє збереженню свіжості продукції та підвищує її споживчі властивості. Використання стрічкових зубчастих ножів дає змогу знизити енерговитрати, зменшити втрати маси виробів та покращити якість зрізу.

Результати дослідження можуть бути впроваджені у технологічні лінії з виробництва нарізаного та пакованого хліба, що дозволяє підвищити рівень автоматизації процесу, скоротити трудовитрати та оптимізувати виробничі площі. Запропоновані рекомендації щодо вибору параметрів різання, конструкції ножів і роботи приводних систем можуть використовуватися виробниками обладнання для створення високопродуктивних та енергоефективних хліборізальних машин нового покоління.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися й обговорювалися на науково-практичних конференціях Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» у 2024-2025р.

Публікації. Основний зміст роботи опубліковано в 1 друкованій публікації: Судак А.В., Підлісний В.В. Обґрунтування конструкції хліборізальної машини // Перші наукові кроки – 2025: збірник наукових праць ХІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців (17 квітня 2025 р., м. Кам'янець-Подільський). – Кам'янець-Подільський, 2025. – 184 с.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ НАРІЗАННЯ ХЛІБА

1.1 Характеристика хлібобулочних виробів

Хлібобулочні вироби належать до провідної категорії харчових продуктів, що характеризуються складною капілярно-пористою структурою та значною різноманітністю рецептур і технологічних властивостей. Структура м'якуша формується внаслідок ферментації та термічної обробки тіста, які забезпечують утворення білково-крохмального каркаса та газових пор, заповнених продуктами бродіння [1]. Така структура визначає механічні й реологічні властивості виробів, включно з пружністю, пластичністю та стійкістю до деформації під час нарізання.

Одним із ключових параметрів хлібобулочних виробів є їх вологість. Масова частка води в традиційних сортових видах хліба зазвичай становить 38–45 %, тоді як у здобних виробах вона може бути значно нижчою через підвищений вміст цукру та жиру [2]. Вологість впливає як на кулінарні властивості, так і на технологічні особливості механічної обробки: підвищений вміст води збільшує пластичність м'якуша, одночасно сприяючи налипанню на різальний інструмент [3].

Щільність м'якуша та його пористість є важливими параметрами, що визначають поведінку виробу під час механічного навантаження. Формування цих характеристик значною мірою залежить від інтенсивності бродіння, структуроутворення клейковини та тривалості випікання [4]. Занадто пориста структура може спричинити деформацію скибок, тоді як надмірна щільність – підвищувати опір різанню, що вимагає більших зусиль та відповідної конструкції ножового обладнання.

Температура хліба після випікання також впливає на його механічні властивості. Дослідження показують, що теплий м'якуш у перші години після виймання з печі відзначається підвищеною пластичністю, що ускладнює

формування рівного зрізу [5]. Охолодження до кімнатної температури стабілізує структуру, зменшує деформацію та покращує якість нарізання.

Корка хліба є жорсткішою порівняно з м'якушем і виконує роль захисного шару. Її властивості залежать від режимів випікання, волого-теплової обробки та рецептури. Занадто тверда корка може створювати надмірний опір ножу, що призводить до локальних напружень і можливих пошкоджень структури м'якуша під час різання [6].

Урахування характеристик хлібобулочних виробів є обов'язковим при проектуванні обладнання для їх механічної обробки. Фізико-механічні, реологічні та структурні параметри визначають вимоги до конструкції ножового вузла, сили різання, частоти коливань або обертання ножа, а також режимів подачі продукту. Таким чином, глибоке розуміння властивостей хлібобулочних виробів формує наукове підґрунтя для створення ефективних конструктивно-технологічних рішень у сфері обладнання для нарізання хліба.

1.2 Технологія нарізання хліба в харчовій промисловості

Технологія нарізання хліба в сучасній харчовій промисловості є важливою ланкою у виробництві хлібобулочних виробів, що забезпечує формування споживчих властивостей продукції, зручність її фасування та підвищення товарної привабливості. Процес механічного різання хліба розглядається як окремий технологічний етап, що потребує урахування фізико-механічних властивостей виробів, режимів їх охолодження, а також параметрів різального обладнання [1].

Після завершення випікання хліб проходить етап охолодження, який є критичним для подальшого якісного нарізання. За даними досліджень, оптимальна температура для різання більшості сортів хліба становить 28–32 °С, оскільки при цьому забезпечується стабільність структури м'якуша та зменшується його злипання на поверхні ножа [2]. Різання гарячого хліба призводить до деформації, а надмірне охолодження – до зростання крихкості, що негативно позначається на цілісності скибок.

Технологічний процес нарізання полягає у циклічній або безперервній подачі виробу до ножового механізму, що виконує різання за допомогою хірургічних лез, стрічкових пилок або дискових ножів. Вибір типу ножа визначається жорсткістю корки, щільністю м'якуша та вимогами до продуктивності. Найпоширенішими в промислових лініях є ножі з маятниковим або вібраційним рухом, які забезпечують мінімальну деформацію зрізу та зниження зусилля різання [3].

Важливим параметром технологічного процесу є товщина скибок. У промисловому виробництві вона стандартизована та зазвичай становить 8–12 мм, хоча залежно від виду продукції може регулюватися в ширшому діапазоні. Рівномірність товщини визначається синхронізацією швидкості подачі хліба та частоти руху ножового блока. Невідповідність цих параметрів викликає дефекти різання, зокрема косі зрізи, розриви м'якуша та нерівномірність розташування скибок у батоні [4].

У промислових умовах значну роль відіграє також спосіб стабілізації виробу під час різання. Використовуються механізми бокового та верхнього притиску, які забезпечують фіксацію хліба та запобігають його зміщенню. Це дозволяє підвищити точність зрізу, особливо в умовах високої продуктивності обладнання.

Окрему увагу приділяють санітарно-гігієнічним вимогам технології нарізання. Залишки м'якуша та крихт на лезах можуть спричиняти мікробіологічні ризики, тому сучасні різальні механізми обладнуються системами автоматичного очищення: повітряними струменями, щітковими вузлами або знімними ножовими блоками для швидкого миття [5].

Таким чином, технологія нарізання хліба охоплює комплекс взаємопов'язаних процесів, що включають підготовку виробу, вибір конструкції ножового обладнання, визначення оптимальних параметрів подачі та різання, забезпечення точності товщини скибок і дотримання вимог санітарної безпеки. Раціональне поєднання цих факторів дозволяє отримати продукцію із стабільною якістю зрізу та високими споживчими властивостями.

1.3 Аналіз існуючих способів різання та машин

Аналіз технічних рішень для нарізання хлібобулочних виробів дозволяє виокремити основні класи обладнання та методи різання, їхні функціональні особливості, переваги й обмеження з погляду технологічних вимог промислового виробництва. Сучасні лінії нарізання можна умовно розділити на ручні (прибуткові) пристрої, напівавтоматичні установки і повністю автоматичні комплекси, призначені для інтеграції в технологічну лінію пакування (фасування) [1, 2].

За принципом формування зрізу розрізняють кілька основних способів різання:

1. Ножі з маятниковим (коливним) рухом.

Такий спосіб передбачає зворотно-поступальний або маятниковий рух леза відносно виробу. Маятникові ножі забезпечують відносно невелику деформацію м'якуша за рахунок швидкого проходження леза через продукт і можливості точного регулювання амплітуди та частоти коливань. Використовуються в середньо- та високопродуктивних лініях для батонів і формового хліба; потребують регулярного заточування та забезпечення захисту від забруднення крихтами [3].

2. Вібраційні (коливальні) ножі.

Поєднують коливальний рух з поступальним переміщенням матеріалу, що дозволяє зменшити зусилля різання і мінімізувати зминання скибок. Часто застосовуються для мокрих або вологих типів виробів, де стрічкові пилки створюють надмірне розтягнення структури. Вібраційні системи мають складнішу енергетичну схему та потребують демпфуючих елементів для зменшення передавання вібрацій на раму установки [3, 4].

3. Стрічкові (ленточні) пилки.

Цей метод базується на безперервній або періодичній роботі абразивної/зубчастої стрічки. Стрічкові пилки дозволяють нарізати і дуже холодні, і теплі вироби, добре працюють з твердою коркою; однак при застосуванні на м'яких, високовологих м'якушах вони можуть викликати

втягування крихт і нерівномірне формування скибок. Перевага – висока довговічність інструмента та відносна простота приводу [5].

4. Дискові (кругові) ножі.

Дискові ножі застосовуються рідше для формового хліба через ризик утворення хвилястого зрізу, але ефективні при масовому різанні батонів і для певних типів здобних виробів. Вони забезпечують високу швидкість різання, але потребують точного центрування виробу та стабільної подачі, інакше спостерігаються зсуви та нерівномірність товщини скибок.

5. Різання із застосуванням тонких металевих ниток або струни (wire cutting).

Метод рідше використовується в хлібопекарській промисловості, але зустрічається при нарізанні м'яких мас (наприклад, деякі види кондитерських виробів). Для хліба обмежений низькою зносостійкістю та проблемами гігієнічного обслуговування.

6. Ультразвукове різання.

Технологія, що отримує поширення для харчових продуктів з делікатною структурою. Ультразвук знижує силу зрізу за рахунок локального зниження опору матеріалу і може мінімізувати налипання м'якуша на лезо. Недоліки – підвищена складність апаратури, необхідність захисту електроніки від виробничих умов та вищі капітальні витрати [6].

Різальні елементи у вигляді пластини, диска, циліндра або струни можуть застосовуватися в процесах рубання, ковзного, вібраційного різання. Усі ці інструменти, окрім струни, можуть мати різні типи ріжучих кромки – гладку, фігурну чи зубчасту. За геометрією леза вони бувають одно- або двосторонньо заточеними, багато-гранними або навіть без заточки.

Машини для різання харчових продуктів поділяють за такими ознаками [15, 16]:

а) будова і форма ножа (рис. 1.1);

б) тип робочої кромки: зубчаста, хвилеподібна, гладка, з односторонньою або двосторонньою заточкою (рис. 1.2);

в) спосіб різання: на зусилля стискання, стругання, вільне падіння або вільне різання;

г) характер руху ножа: фіксоване положення, поступальний, обертальний чи коливальний рух.

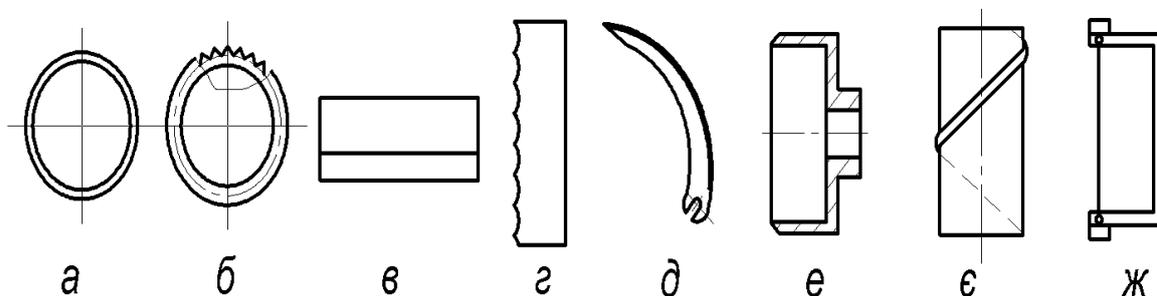


Рисунок 1.1 – Основні типи ножів:

a – дисковий гладкий; б – дисковий зубчастий; в – плоский гладкий; г – зубчастий стрічковий; д – серповидний; е – циліндричний; е – гвинтоподібний; ж – ріжуча струна.

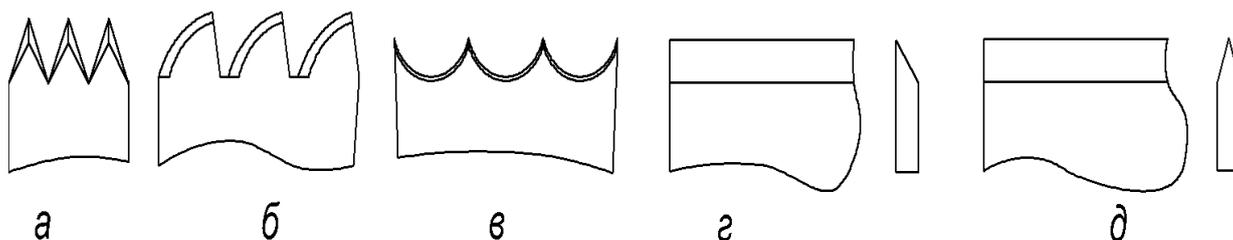


Рисунок 1.2 — Основні форми лез:

a — гостра зубчаста; б, в — дугова зубчаста; г, д — гладкі з одно- та двосторонньою заточкою.

У промисловості найпоширенішими є плоскі ножі, леза яких можуть бути як гладкими, так і зубчастими. Такі ножі працюють переважно за принципом різання під тиском або за ножичним типом.

Стрічкові ножі використовують під час нарізання хліба, сухарних блоків та інших борошняних виробів. Зазвичай вони мають зубчасте лезо. Швидкість руху стрічки по напрямних дисках сягає 1–50 м/с, що забезпечує значну продуктивність та ефективність різання.

Серпоподібні та дугоподібні ножі призначені для поперечного поділу шнуроподібних продуктів, а також для подрібнення риби, м'яса та овочів [5, 7]. Геометрія їх ріжучої кромки часто повторює спіраль Архімеда або логарифмічну спіраль: перша забезпечує постійну швидкість різання при

незмінній кутовій швидкості, друга – рівномірне переміщення леза вздовж радіуса.

Круглі та дискові ножі [3] використовують для обробки пластичних та м'яких продуктів – м'яса, риби, тіста, хліба. Їхня кромка може бути гладкою або з плавними дрібними зубцями; для твердих чи ламких матеріалів застосовують інструменти з гострою зубчастою формою. Завдяки особливостям конструкції дискові ножі здатні самотійно затягувати продукт у зону різання.

Різальний дріт діаметром 0,2–2 мм добре працює з в'язко-пластичними однорідними масами (масло, маргарин, кондитерські маси) і крихкими виробами (вафлі). За якістю різання він подібний до ножів із тупими лезами.

Під час нарізання хліба зазвичай застосовують пластинчасті або стрічкові ножі із хвилеподібною зубчастою кромкою [2, 3].

Залежно від виду хліба та його свіжості використовують три типи ножів: для відносно твердого хліба, середньої твердості та дуже м'якого.

Батони, що найчастіше підлягають нарізання, належать до групи твердих, тому для них рекомендується застосовувати ножі типу а (рис. 1.3), де зубці сформовані основними фасками. Такі ножі прості у виготовленні, недорогі та мають хорошу зносостійкість під час роботи з щільною скоринкою, однак поперечне шліфування інколи призводить до нерівної поверхні зрізу.

Ножі з поздовжнім шліфуванням фаски (рис. 1.3, г) дозволяють усунути цей недолік.

Для подового хліба з тонкою скоринкою та м'якушем середньої щільності краще застосовувати ножі типу б, що мають дві фаски з обох боків та заточені перпендикулярно довжині леза, або типу д, де вторинна фаска шліфується вздовж напрямку різання.

Хліб, виготовлений на основі інтенсивного безперервного замісу, має крихку скоринку і дуже м'який м'якуш. Для нього підходять тонкі двофаскові ножі з фаскою, відшліфованою за напрямком різання. Недоліком таких ножів є швидке зношування, що з часом погіршує якість зрізу.

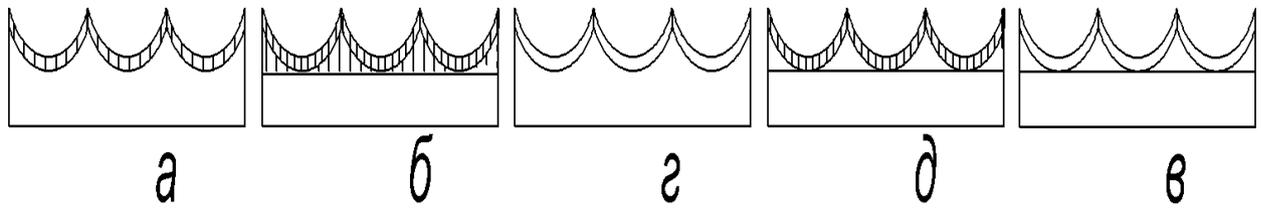


Рисунок 1.3 – Види зубчастої ріжучої кромки ножів для хліборізок.

1.3 Аналіз конструкції машин для різання хліба

Хліборізальна машина МРХ-200 забезпечує продуктивність до 200 різань за хвилину. Конструктивно агрегат (рис. 1.4) включає корпус, робочу камеру, завантажувальний і вивантажувальний лотки, вузол подавання хліба до ріжучого інструмента, механізм регулювання товщини скибок, пристрій для заточування ножа та приводну систему.

Щоб знизити рівень шуму під час експлуатації, корпус машини встановлено на чавунній станині, оснащеній гумовими амортизаторами, які поглинають вібрації.

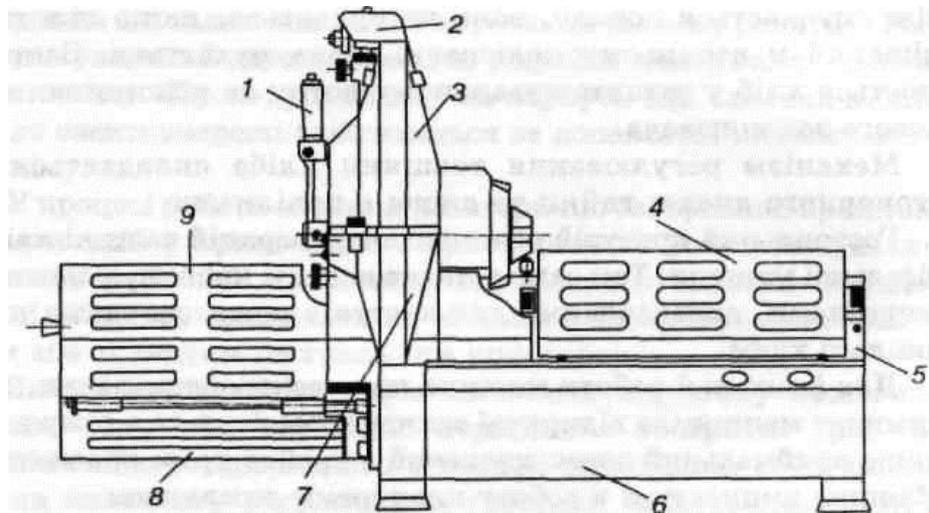


Рисунок 1.4 - Схема хліборізальної машини МРХ-200:

1 - рукоятка; 2 - пристрій для заточування; 3 - захисний кожух дискового ножа; 4 - решітка завантажувального лотка; 5 - лоток подачі; 6 - корпус механізму подачі; 7 - різальний механізм; 8 - приймальний лоток; 9 - захисна решітка приймального лотка.

Порожнистий дисковий кожух, що складається з двох секцій, утворює робочу камеру хліборізальної машини. Усередині цього відсіку знаходиться планетарний механізм разом із дисковим ножом діаметром 300 мм, урівноваженим противагою. У нижній частині робочої камери з обох боків розташовані вузли для завантаження та вивантаження виробів. Перед завантажувальним механізмом встановлено нерухомий лоток для укладання хліба, тоді як перед розвантажувальним розміщується рухомий лоток, який забезпечує виведення нарізаної продукції.

Привідна система включає електродвигун, клинопасову передачу та ланцюговий механізм. Цей привід забезпечує комбінований – планетарний – рух ножа, що поєднує його обертання навколо власної осі та навколо осі приводного вала. Для ручного регулювання положення ножа використовується спеціальна рукоятка, встановлена на лівому боці корпусу. Машина оснащена електромагнітним гальмом, яке гасить інерційний хід ножа після зупинки. Під час роботи гальмо автоматично вимикається, а для ручного розгальмовування передбачена додаткова рукоятка.

Для подавання хліба до ріжучого інструмента використовується ходовий вал і каретка з фіксуючим захватом. Ходовий вал працює в режимі переривчастого обертання. Рух каретки синхронізовано з положенням ножа: під час опускання ножа каретка залишається нерухомою, а коли ніж піднімається у верхнє положення – вона переміщується вперед. Закріплення буханця у завантажувальному лотку здійснюється голчастим захоплювачем.

Система регулювання товщини зрізу складається зі стопорного диска, гайки та шкальованого диска, що дозволяє точно налаштувати товщину скибок.

Пристрій для заточування ножа розташований у верхній частині машини. Тут же встановлено дві кнопки, пов'язані зі шкребками, які очищують поверхню дискового ножа від налиплого м'якуша.

Для забезпечення безпечних умов експлуатації машина обладнана системою електричного блокування. Вона автоматично вимикає обладнання в тих випадках, коли захисна решітка відкрита або коли приймальний лоток

відведено у крайнє праве положення. Запуск машини здійснюється за допомогою кнопочового вимикача.

Крутний момент від привідного механізму передається на головний вал, який приводить у дію дисковий ніж і ходовий вал з кареткою, що утримує батон. Коли ніж рухається у верхнє положення, каретка з хлібом переміщується вперед ривкоподібним поступальним рухом на величину, що відповідає встановленій товщині скибки. Процес різання відбувається під час опускання ножа донизу — у цей момент каретка фіксується і не рухається. Таким чином забезпечується стабільна товщина кожного зрізу.

Хліборізальна машина АХМ-300Т (Болгарія). Машина призначена для отримання рівномірних за товщиною скибок хліба в діапазоні від 5 до 25 мм. Її конструкція (рис. 1.5) включає корпус, електропривід, механізм подачі, вузли завантаження й розвантаження, а також систему запуску та електроблокувальні пристрої.

Кожух виготовлено з листової сталі, і разом із рамою він формує несучий корпус обладнання. На правому боці корпусу розміщено дверцята, що забезпечують доступ до механізму встановлення товщини зрізу. Зліва, під обертовим ножом, розташовано контейнер для збору крихт.

Привід машини включає електродвигун і двоступеневу клинопасову передачу. Привідний вал забезпечує обертання ножа і водночас передає рух механізму подачі, до складу якого входять ексцентрик, шатун, вузол односпрямованого зчеплення, вал, зубчаста конічна передача, ланцюгова передача та штовхач. Узгоджена робота цих елементів забезпечує ривкоподібне поступальне переміщення хліба до зони різання.

Серпоподібний ніж обладнаний захисним кожухом, який легко демонтується, що спрощує процес заміни ножа та очищення робочої зони від крихт.

Подавальний механізм включає дві зірочки та ланцюг, на якому закріплено по одному пальцю з кожного боку. Пальці взаємодіють зі штовхачем, забезпечуючи його послідовне переміщення в напрямку ріжучої

крайки. Після завершення робочого циклу штовхач повертається у вихідне положення за рахунок дії пружини та повзуна.

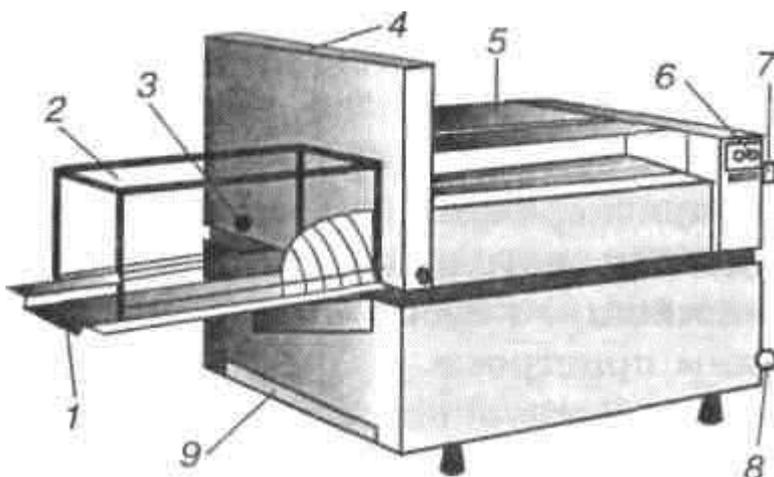


Рисунок 1.6 - Машина для нарізування хліба АХМ-300Т

1 - платформа; 2 - кришка розвантажувального лотка; 3 - блокувальний вимикач; 4 - захисний елемент ножа; 5 - кришка завантажувального механізму; 6 - кнопкова станція; 7 - дверцята; 8 - штепсельний роз'єм; 9 - контейнер для крихт.

На ексцентриковому вузлі розташовано регулятор із шкалою, що має поділки 5, 10, 15, 20 і 25 мм, які дозволяють встановлювати бажану товщину зрізу.

Завантажувальний вузол включає лоток, кришку блокувального вимикача та систему напрямних пластин. Лоток виготовлено з нержавіючої сталі, а прозора кришка з оргскла забезпечує виконання санітарних норм та зручність контролю.

Розвантажувальний механізм складається з платформи, захисної кришки з оргскла та блокувального вимикача, що гарантує безпечне вилучення хліба.

Підключення машини до мережі та її запуск здійснюється через штепсельний роз'єм і кнопку станцію.

Після увімкнення обладнання обертання від електродвигуна через двоступеневу клинопасову передачу надходить на основний вал, де закріплено серпоподібний ніж. Одночасно крутний момент передається на механізм подачі через ексцентриковий розподільник, шатун і систему односпрямованого

зчеплення. Унаслідок цього починає рухатися другий вал, що передає зусилля через конічну зубчасту передачу до ланцюга подавального пристрою.

Пальці на ланцюгу, проходячи по замкненій траєкторії, переміщують штовхач, який подає хліб до ріжучої зони. Ніж відсікає скибку під час проходження ножа крізь хлібний батон. Коли штовхач переміщується вперед, повзун розтягує пружину. Діставшись крайньої лівої позиції, палець вивільняє штовхач, і той під дією пружини повертається назад у початкову точку. У цей момент інший палець активує кінцевий вимикач, після чого машина автоматично зупиняється.

Хліборізальна машина моделі А-2ХРЗ-П (рис. 1.7) призначена для високопродуктивного нарізування хлібобулочних виробів і має привідну систему, схема якої наведена на рис. 1.7. Конструктивно машина об'єднує привідну коробку, конвеєри подавання (8), видавання (1) та верхній конвеєр (5), комплект касет, ножові рами та електрообладнання з електродвигуном (7). Усі елементи встановлені на двох боковинах і базовій плиті (3), що забезпечує жорсткість та стабільність конструкції.

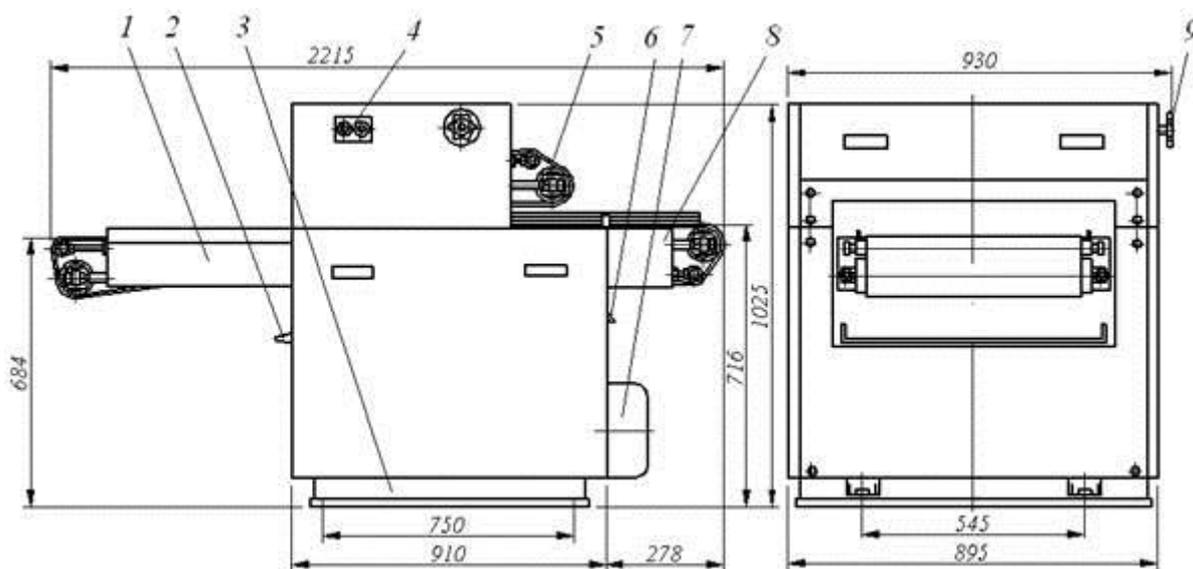


Рисунок 1.7 – Хліборізальна машина А-2ХРЗ-П: 1 – конвеєр видачі; 2 – піддон; 3 – плита; 4 – вимикач; 5 – верхній конвеєр; 6 – ввідний автомат; 7 – електродвигун; 8 – конвеєр подачі; 9 – маховичок

Привідна коробка утворена чавунним литим корпусом, у якому розміщено колінчастий вал і плунжери. Вона жорстко закріплюється на плиті та передає рух робочим органам.

Конвеєри подавання та видавання включають рамну основу, привідні й натяжні барабани, систему відхиляючих роликів, а також дві регульовані напрямні плити. Ці конвеєри закріплені на боковинах машини.

Верхній конвеєр виконаний у складі привідного і натяжного барабанів, відхиляючого ролика та литого кронштейна, на якому змонтовані всі його елементи. Його висотне положення регулюється за допомогою двох вертикальних гвинтів, вмонтованих у траверсу. Траверса, у свою чергу, спирається на боковини через дві опорні колони. Піднімання та опускання верхнього конвеєра здійснюється вручну за допомогою маховичка (9), що приводить у дію гвинтову передачу.

Касета являє собою рамну конструкцію, утворену верхньою та нижньою траверсами, які з'єднані між собою двома стяжками. Основна її функція – забезпечення надійного кріплення ножової рами. Нижня частина касети зв'язана з плунжером привідної коробки, тоді як верхня переміщається по двох напрямних, що забезпечують зворотно-поступальний рух під час роботи машини.

Ножова рама має вигляд звареної прямокутної конструкції, яка складається з верхньої планки, нижньої основи та двох стояків. На цих планках розташовані напрямні з пазами, що забезпечують точне встановлення ножів і запобігають їх повороту. Пази виконано з фіксованим кроком, що дозволяє зберігати рівномірність інтервалів між ножами. Нижні кінці ножів закріплюються в пазах нижньої планки, а верхні – фіксуються підвісками, які вставляються у відповідні отвори верхньої планки. Натяг ножів регулюється підпружиненими гайками.

У конструкції машини застосовано дві касети та дві ножові рами, розташовані так, що ножі однієї рами зміщені відносно ножів іншої. Така компоновка забезпечує більш рівномірне навантаження на продукт і покращує якість нарізування. Всі ножі встановлюються з однаковим кроком, що гарантує стабільну товщину скибок.

Критичними показниками при виборі конструктивного рішення є: продуктивність (шт/год або кг/год), точність і рівномірність товщини скибок,

ступінь деформації та цілісності скибок, гігієнічність (можливість миття/дефекції вузлів), енергоефективність та зносостійкість інструмента. Наприклад, маятникові та вібраційні ножі забезпечують кращу якість зрізу для формового хліба з м'яким м'якушом, в той час як стрічкові та дискові системи краще підходять для виробів із твердою коркою та високою продуктивністю [3, 5].

Огляд промислових реалізацій показує, що сучасні автоматичні установки поєднують кілька технологічних рішень: модульну систему ножових блоків з регульованою частотою й амплітудою коливань, автоматизовану систему подачі та притиску, а також вбудовані механізми очищення. Це дозволяє гнучко налаштувати процес під різні види продукції і швидко переходити між заданими параметрами товщини скибок, зберігаючи санітарні вимоги та знижуючи втрати [2, 4].

Серед недоліків поширених конструкцій слід відзначити: схильність до забруднення та накопичення крихт у важкодоступних вузлах (особливо у стрічкових системах), необхідність частого технічного обслуговування і заточування ножів, а також труднощі з нарізанням свіжовипечених виробів без попереднього охолодження. Тому, при проектуванні нового обладнання важливо враховувати не лише механічні характеристики ножа, але й питання ергономіки обслуговування, простоти розбирання для миття та сумісності з існуючими лініями пакування.

Узагальнюючи, можна сформулювати вимоги до ідеальної промислової установки для нарізання хліба: забезпечення мінімальної деформації м'якуша, висока точність товщини скибки, гігієнічність конструкції, можливість швидкого регулювання режимів під різні сорти продукції та економічна ефективність експлуатації. Вибір конкретного технологічного рішення має здійснюватися на основі порівняльного розрахунку сил різання, аналізу взаємозв'язку параметрів подачі та частоти різання, а також з урахуванням санітарно-гігієнічних і ергономічних вимог виробництва.

1.5 Обґрунтування необхідності дослідження розроблення нової або модернізованої установки

Сучасні технологічні процеси у хлібопекарській промисловості вимагають обладнання, здатного забезпечувати стабільно високу якість нарізання продукції, високу продуктивність, енергоефективність та адаптивність до різноманітних видів хлібобулочних виробів. Проте аналіз існуючих хліборізальних машин показує наявність низки технічних обмежень, що ускладнюють досягнення зазначених вимог. До найбільш поширених проблем належать: підвищений рівень шуму та вібрацій, нерівномірність товщини скибок, недостатня чистота зрізу, значне утворення крихт, а також обмеження щодо роботи з особливо м'якими, пористими або високовологими виробами.

Крім того, традиційні конструкції не завжди забезпечують належний рівень безпеки та ергономіки, особливо в умовах інтенсивної експлуатації. Це зумовлює підвищене навантаження на персонал, складність технічного обслуговування та збільшення витрат на ремонт. Водночас розвиток нових видів хліба – таких як безглютенові, збагачені харчовими волокнами, із модифікованою структурою м'якуша – потребує обладнання, здатного працювати з продуктами, що мають нестандартні механічні властивості.

Суттєвою проблемою є також швидкий знос ножів та складність підтримання оптимальних режимів різання в умовах різної твердості скоринки, що знижує надійність та точність роботи установки. Наявні конструкції не завжди дозволяють гнучко змінювати параметри процесу (швидкість подавання, частоту коливань ножів, зусилля різання), що обмежує їх технологічні можливості.

У контексті зростання вимог до енергоефективності підприємства потребують обладнання, яке споживає менше енергії при збереженні або підвищенні продуктивності. Традиційні привідні системи, як правило, не оптимізовані для роботи з мінімальними втратами, що призводить до перевитрати електроенергії та підвищення собівартості продукції.

У зв'язку з наведеними факторами виникає необхідність розробки нової або модернізованої хліборізальної установки, здатної:

- забезпечувати високу точність нарізання за мінімального утворення крихт;
- працювати з широким спектром хлібобулочних виробів незалежно від їхньої структури, вологості та міцності;
- знижувати рівень шуму та вібрацій за рахунок оптимізованих конструктивних рішень;
- мати підвищену довговічність ріжучих органів та зменшені витрати на обслуговування;
- забезпечувати гігієнічність, швидкий доступ до вузлів, простоту очищення;
- інтегрувати сучасні системи захисту та автоматичного керування.

Розроблення такої установки дозволить підвищити ефективність виробництва, покращити якість кінцевої продукції, зменшити втрати та створити передумови для модернізації хлібопекарських підприємств відповідно до сучасних технологічних стандартів. Саме це обґрунтовує актуальність та доцільність проведення даного дослідження.

Задачі дослідження

1. Проаналізувати сучасний стан і технічні характеристики існуючих хліборізальних машин, визначити їхні конструктивні недоліки, експлуатаційні обмеження та проблеми, що виникають у виробничих умовах.

2. Дослідити процес різання хлібобулочних виробів із різною структурою м'якуша та скоринки, встановити основні фактори, що впливають на якість та рівномірність нарізання.

3. Обґрунтувати оптимальні параметри роботи ріжучого механізму (частоту коливань ножів, швидкість подавання хліба, зусилля різання), що забезпечують мінімальне утворення крихт та високий ресурс роботи ножів.

4. Розробити заходи з охороно праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень, оцінити їх вплив на продуктивність, енергоспоживання та загальну ефективність виробництва.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТА В МАТЕРІАЛІ

Для повноцінного вивчення процесу різання та визначення його ключових параметрів необхідно сформуванати математичну модель, яка б відображала, як сила різання змінюється залежно від швидкості просування леза в матеріалі та від характеристик самого продукту. Особливе значення при цьому мають фрикційні напруження, що виникають на межі контакту ножа з продуктом.

Під час побудови такої моделі розглядається поведінка леза під час його занурення в матеріал. На ріжучу кромку, що входить у продукт, діють сили опору, які протидіють її руху (рис. 2.1).

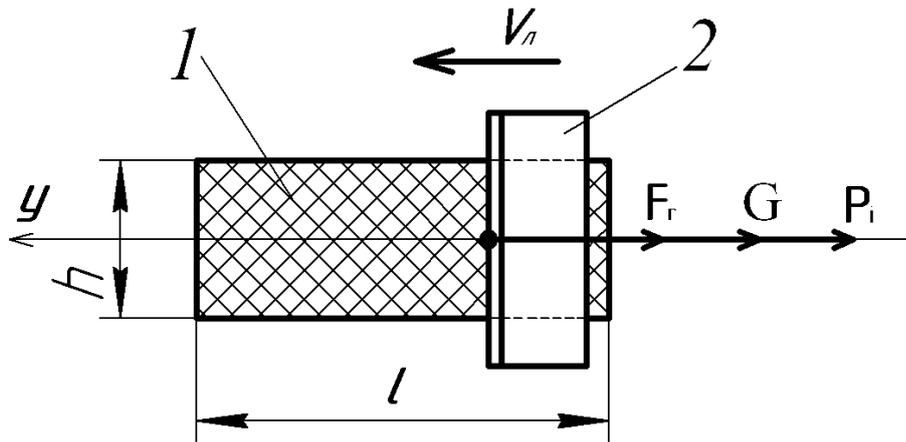


Рисунок 2.1 – Схематичне відображення сил, що діють на ріжуче лезо:

1 – продукт; 2 – лезо.

У позначеннях рис. 2.1:

l – лінійний розмір продукту, м;

h – ширина продукту, що одночасно відповідає довжині траєкторії різання, м;

F_r – сила різання, що спрямована на руйнування внутрішніх структурних зв'язків матеріалу. Її величина визначається геометричними параметрами інструмента, включаючи форму леза, кут його заточування та кут різання;

G – сила адгезійної взаємодії (тертя), яка виникає між бічною поверхнею леза та продуктом. Вона чинить опір переміщенню інструмента внаслідок

контакту з матеріалом і змінюється пропорційно швидкості руху леза в продукті.

Під час розрахунку адгезійної складової G для взаємодії між бічною поверхнею леза та хлібним середовищем беруть до уваги низький рівень адгезійної міцності цього продукту [12, 14]. Значення коефіцієнтів C та k_1 визначають шляхом аналізу процесів тертя, що виникають на поверхні леза:

$$G = C_{mp} + k_1 V = C_{mp} + k_1 \frac{dy}{dt}, \quad (2.1)$$

У поданому виразі:

C_{TR} , H – сталий коефіцієнт, що характеризує властивості продукту. У даному дослідженні його значення визначається умовами витримування хліба та питомим тиском, який виникає між матеріалом і бічною поверхнею ножа;

V – швидкість відносного ковзання між продуктом і бічною гранню леза, м/с;

k_1 — коефіцієнт пропорційності, який відображає вплив швидкості ковзання на величину сили тертя, кг/с;

y — глибина або величина занурення леза в продукт, м;

t — час, протягом якого лезо переміщується в матеріалі, с.

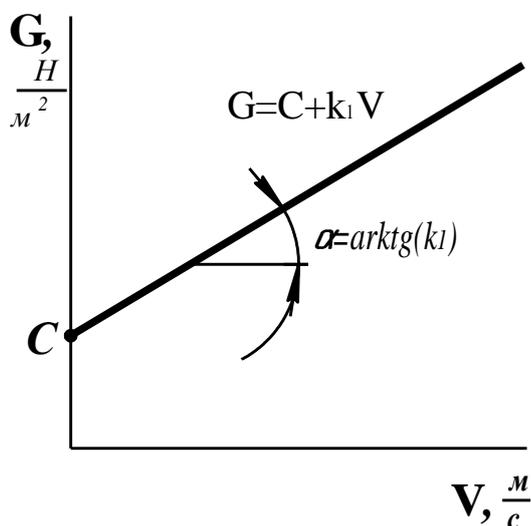


Рисунок 2.2 – Схематичне визначення коефіцієнтів C_{TR} та k_1 .

Під час проникнення леза в продукт виникає інерційна сила P_i , яка впливає на ріжучий елемент. Її напрям протилежний напрямку прискорення леза, оскільки вона зумовлена опором маси продукту зміні швидкості руху інструмента.

$$P_i = ma = m \frac{d^2 y(t)}{dt^2}, \quad (2.2)$$

У цьому виразі:

m — приведена до леза маса рухомого елемента установки (див. рис. 2.3);

a — прискорення або уповільнення леза під час його руху в продукт.

Схематичне визначення маси коромисла, еквівалентної масі, що діє в точці S на лезо, наведено на рис. 2.3.

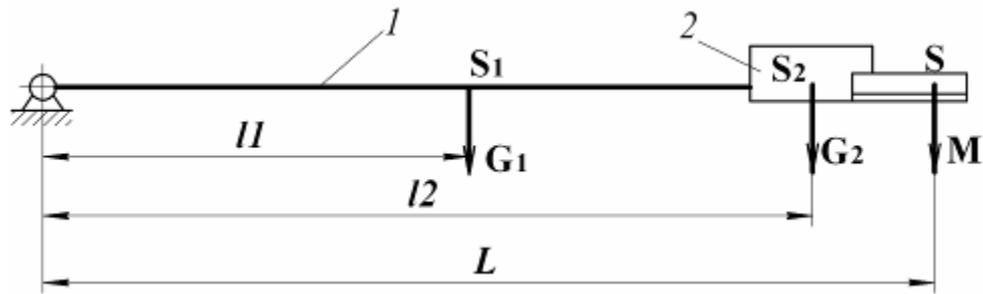


Рисунок 2.3 – Схема приведення маси коромисла до леза:

1 – плече коромисла; 2 – лезо, закріплене в тримачі.

Позначення, наведені на рис. 2.3:

S_1, L_1 – положення центра мас коромисла та відповідна відстань від осі обертання;

S_2, L_2 – положення центра мас леза разом із тримачем і відстань від осі обертання;

S – точка, до якої приводиться маса коромисла на ріжучому елементі;

G_1, G_2 – вагові сили коромисла та леза з тримачем;

m – маса коромисла, еквівалентно приведена до точки S .

Виходячи з умови рівноваги системи:

$$m = \frac{G_1 \cdot l_1 + G_2 \cdot l_2}{g \cdot l}, \text{ кг}, \quad (2.3)$$

тут $g=9,81 \text{ м/с}^2$.

Для леза з відомою геометричною формою, представленою на рис. 2.1, можна записати:

$$F_p + G + P_i = 0. \quad (2.4)$$

Розкриваючи окремі члени рівняння, отримуємо диференціальне рівняння руху механізму при зануренні в продукт:

$$F_r + (C_{mp} + k_1 \frac{dy(t)}{dt}) + m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = 0. \quad (2.5)$$

де m - маса рухомого елемента, $C_{тр}$ - коефіцієнт в'язкого опору продукту, k_1 - жорсткість пружного елемента, F_r — зовнішня сила, що залежить від положення та часу.

Це рівняння описує динаміку системи під дією сумарних сил інерції, опору середовища та пружної реакції конструктивних елементів. Його розв'язок дозволяє визначити зміну швидкості та положення елемента в процесі занурення, що є ключовим для оцінки експлуатаційних характеристик установки.

За допомогою методів символічної математики в середовищі Maple [12, 14] отримано загальний розв'язок рівняння (2.2):

$$y(t) = \frac{C_1 \cdot m \cdot e^{-\frac{k_1 \cdot t}{m}}}{k_1} - \frac{(F_r + C_{mp})t}{k_1} + C_2, \quad (2.6)$$

де C_1 і C_2 - вільні коефіцієнти [25].

Отриманий аналітичний вираз дозволяє досліджувати динамічну поведінку рухомого елемента та оцінювати вплив конструктивних і експлуатаційних параметрів на його коливання.

Враховуючи початкові умови, за яких у момент часу ($t = 0$) глибина занурення леза в продукт дорівнює ($y = 0$), а швидкість його руху складає $dy/dt = V_{oy}$, отримуємо:

$$y(t) = \frac{(F_r + C_{mp} + V_{oy} \cdot k_1) \cdot m \cdot e^{-\frac{k_1 \cdot t}{m}}}{k_1^2} - \frac{(F_r + C_{mp}) \cdot t}{k_1} + \frac{(F_r + C_{mp} + V_{oy} k_1) \cdot m}{k_1^2}, \quad (3.7)$$

Ці початкові умови дозволяють визначити сталі інтегрування у загальному розв'язку рівняння (2.2) та отримати конкретний розв'язок, який описує динаміку леза при його зануренні в продукт.

З рівняння (2.4) можна визначити зусилля різання (F_r) для різних умов проведення технологічного процесу. Водночас проведення експерименту пов'язане з певними складнощами, оскільки необхідно в реальному часі відстежувати глибину занурення леза, тобто знати функціональну залежність (y

= f(t)). Хоча існуючі технічні засоби дозволяють реалізувати такі вимірювання, їхнє застосування є досить складним. Для цього потрібна спеціальна вимірювальна система, яка фіксує кінетику руху леза всередині матеріалу, що значно ускладнює конструкцію експериментальної установки.

Для спрощення методики визначення зусилля різання (F_r) пропонується використати рівняння (2.4) та продиференціювати його, що дозволить отримати аналітичний вираз для розрахунку зусилля без складних вимірювань.

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{(F_r + C_{mp} + V_{oy} \cdot k_1) \cdot e^{-\frac{k_1 \cdot t}{m}} - F_r + C_{mp}}{k_1^2}, \quad (2.8)$$

Визначити зусилля різання F_r можна за допомогою рівняння (3.5):

$$F_r = \frac{k_1 \frac{dy(t)}{dt} - e^{-\frac{k_1 \cdot t}{m}} (C_{mp} + V_{oy} k_1) + C_{mp}}{e^{-\frac{k_1 \cdot t}{m}} - 1}, \quad (2.9)$$

де аргументи функції включають положення леза, його dy/dt - швидкість та прискорення, що забезпечує облік динаміки руху елемента під час занурення в продукт.

Отриманий вираз дозволяє розрахувати зусилля різання для різних умов проведення технологічного процесу без необхідності прямих складних експериментальних вимірювань.

Швидкість визначаємо на початковому та кінцевому етапах процесу обробки зразка за допомогою наступних рівнянь:

$$V_{oy} = V_{\text{вх}} = R \sqrt{2 \frac{\sum P_i r_i}{J} (1 - \cos \alpha)}, \quad (2.10)$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = V_{\text{вих}} = R \sqrt{2 \frac{\sum P_i r_i}{J} (1 - \cos(\beta + (\alpha - \beta_{\text{впр}})))}. \quad (2.11)$$

Приймаємо, що швидкість руху леза змінюється за лінійним законом (рис. 2.4). Використовуючи значення кутів відхилення коромисла α та β , розрахунковим шляхом визначаємо швидкість леза у кількох проміжних точках його траєкторії.

Маючи дані про швидкість леза та час його перебування в продукті, можна визначити такі характеристики:

$$t = \frac{y}{\frac{dy}{dt}}, \text{ с.} \quad (2.12)$$

Цей підхід дозволяє оцінити кінетику процесу занурення леза та розрахувати відповідні зусилля без проведення складних експериментальних вимірювань.

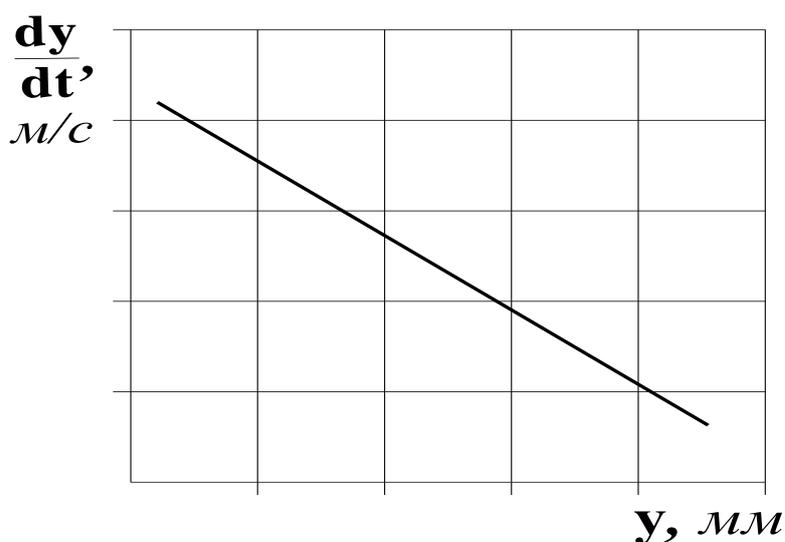


Рисунок 2.4 - Залежність швидкості леза від глибини його занурення в продукт.

Для визначення зусилля різання за рівнянням (3.6) необхідно знати значення коефіцієнтів (C) та (k_1). Їх можна визначити за методикою, наведеною в [16], що передбачає проведення експериментальних досліджень для оцінки напружень тертя. На основі отриманих результатів визначаються залежності коефіцієнтів (C) та (k_1) від властивостей матеріалу та умов проведення процесу різання.

Для порівняння властивостей оброблюваного продукту та оцінки параметрів різального обладнання використовується питоме зусилля різання F_r^{num} , яке визначається як відношення зусилля різання (Fr) до довжини лінії різання (h) (рис. 2.1). Згідно з розробленою математичною моделлю, питоме зусилля різання визначається за формулою:

$$F_r^{num} = \frac{F_r}{h} = \frac{k_1 \frac{dy(t)}{dt} - e^{-\frac{k_1 \cdot t}{m}} (C_{mp} + V_{oy} k_1) + C_{mp}}{e^{-\frac{k_1 \cdot t}{m}} - 1} \cdot \frac{1}{h}, \quad (2.13)$$

Цей підхід дозволяє уніфікувати оцінку зусилля різання для різних матеріалів та умов технологічного процесу, спрощуючи розрахунок параметрів обладнання.

Отриману математичну модель використовують для визначення зусилля різання за допомогою розробленої експериментальної установки (рис. 3.1). Змінюючи початкову швидкість леза на вході в продукт та підставляючи у рівняння (2.13) всі необхідні параметри, отримують серію залежностей зусилля різання від початкової швидкості леза (V_{oy}), структурно-механічних властивостей матеріалу та величини тертя між продуктом і поверхнею леза.

На основі аналізу цих результатів визначаються такі значення швидкості леза, при яких забезпечується мінімальне зусилля різання, що дозволяє оптимізувати умови проведення процесу та підвищити ефективність роботи обладнання.

Висновок до другого розділу

У даному розділі було розглянуто математичне моделювання процесу занурення леза в продукт та визначення зусилля різання. Розроблено диференціальне рівняння руху леза, отримано його загальний розв'язок із урахуванням початкових умов та можливості обчислення швидкості і положення леза у проміжних точках траєкторії.

Встановлено, що точне визначення зусилля різання у реальному часі пов'язане зі значними експериментальними труднощами через необхідність фіксації глибини занурення леза. Для спрощення процесу було запропоновано використання аналітичних методів із диференціюванням рівняння руху, що дозволяє розрахувати зусилля без складних вимірювань.

Розроблена модель враховує кути відхилення коромисла, швидкість леза та властивості матеріалу, що дозволяє визначати питомі зусилля різання для

різних умов обробки. На основі аналізу отриманих залежностей встановлено значення швидкостей леза, при яких забезпечується мінімальне зусилля різання, що є важливим для оптимізації параметрів технологічного процесу та підвищення ефективності роботи обладнання.

Таким чином, розділ закладає теоретичну основу для проведення експериментальних досліджень та подальшого розрахунку конструктивно-технологічних параметрів різального обладнання.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

3.1 Розробка експериментальної установки

Для дослідження процесу різання було розроблено експериментальну установку у вигляді маятника, на кінці коромисла якого закріплено лезо, що розрізає продукт під час коливання маятника. Конструкція установки дозволяє змінювати швидкість різання у широких межах. Регулювання швидкості здійснюється шляхом зміни кута відпуску коромисла або за допомогою корекції моменту інерції шляхом приєднання додаткових вантажів і зміни їхнього положення на коромислі. Схема установки наведена на рис. 3.1.

На станині 9 закріплено колонку 14, до якої прикріплено підшипниковий вузол 7 осі коромисла. На осі жорстко змонтовано коромисло маятника 1, а на нього вільно надіта вказівна стрілка 6. Для зміни моменту інерції по коромислу переміщується та фіксується вантаж 2 у потрібному положенні. На кінці коромисла у тримачі 3 розташоване лезо 4.

Дослідний зразок продукту 13 фіксується на столі 10 за допомогою прижимних пластин 12. Для встановлення необхідної глибини різання стіл 10 переміщується вертикально за допомогою гвинтового пристрою 11.

Вказівна стрілка рухається лише в одному напрямку. Коромисло відводиться на заданий кут і відпускається, при цьому лезо розрізає продукт. Після завершення різання коромисло разом із вказівною стрілкою піднімається на певний кут, і стрілка фіксується, вказуючи на шкалі 5 кут підйому коромисла. Ціна поділки шкали становить 0,5 градуса.

Швидкість руху леза під час різання регулюється двома основними способами:

1. Зміною моменту інерції коромисла, що здійснюється шляхом переміщення вантажу 2 уздовж коромисла;
2. Зміною кута відпуску коромисла, з якого воно починає коливання.

Для проведення досліджень використовується ніж із лезом, що має гладку різальну кромку та двосторонню заточку (рис. 1.2, д). Лезо встановлено паралельно коромислу маятника і врізається в продукт під кутом $\varphi = 0^0$) (рис. 1.4). Таким чином, відповідно до класифікації різновидів руху леза в матеріалі [13, 15], процес різання належить до нормального (рубаючого) типу, при якому лезо розрізає матеріал у напрямку, перпендикулярному до своєї кромки.

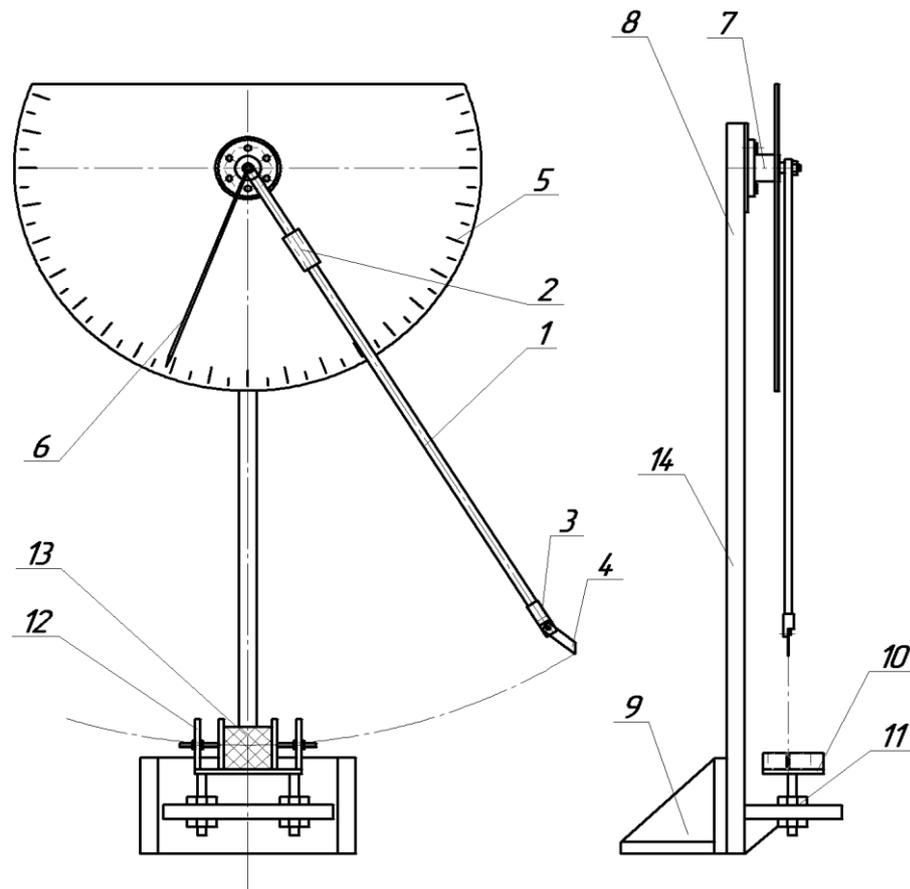


Рисунок 3.1 – Схема експериментальної установки для вивчення процесу різання:

1 – коромисло маятника; 2 – вантаж змінний; 3 – тримач леза; 4 – лезо; 5 – шкала; 6 – вказівна стрілка; 7 – вузол підшипниковий; 8 – маятникова колона; 9 – станина; 10 – стіл робочий; 11 – механізм гвинтовий; 12 – прижимні пластини для фіксування продукту; 13 – дослідний зразок; 14 – колона.

При нормальному (рубаючому) різанні кут заточки та форма кромки леза залишаються незмінними [13, 15], на відміну від різання під кутом. Для нарізання хліба зазвичай застосовуються стрічкові ножі з зубчастою різальною кромкою. Ніж рухається в напрямку, тангенціальному до поверхні продукту, при цьому кожен зубець розрізає матеріал так само, як при нормальному

різанні, за умови, що тангенціальна швидкість руху перевищує нормальну. Зубець входить у продукт під певним кутом, що призводить до зміни кута заточки та форми кромки леза [18, 22] і зменшення зусилля різання.

Аналіз наукових джерел показав, що маючи відомі значення зусиль різання при нормальному (рубальному) врізанні леза [13, 15, 18], можна розрахувати зусилля при різанні під кутом або ковзаючого, якщо параметри різальної кромки залишаються незмінними. Тому експериментальні результати зусиль різання при нормальному різанні використовуються для оцінки параметрів різання зубчастим ножом і перевіряються експериментально. Вивід відповідних залежностей представлено у наступних розділах роботи.

Геометричні характеристики леза, що застосовувалося в дослідженнях:

- гладка різальна кромка з двосторонньою заточкою;
- кут заточки – 30° ;
- гострота леза – 0,03 мм.

Визначення гостроти леза проведено оптичним методом [30].

3.2 Визначення режимних параметрів роботи установки

Схема для розрахунку параметрів роботи маятника наведена на рис. 3.2. Для визначення швидкості руху леза необхідно знати момент інерції коромисла маятника та положення його центра мас.

Момент інерції коромисла визначається як сума моментів інерції всіх його елементів.

1. Коромисло. Виконане з трубки діаметром ($D = 14$ мм), довжиною ($l = 1,2$ м) і масою ($m = 0,1734$ кг). Момент інерції коромисла відносно осі обертання обчислюється за формулою:

$$I_{z1} = \frac{ml^2}{3} = \frac{0.1734 \cdot 1.2^2}{3} = 0.0832 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

2. Кріплення для ножа. Маса деталі становить 0,181 кг. Вона має складний профіль (рис. Б.1, додаток Б). Момент інерції відносно центру мас та координати центру мас визначалися за допомогою тривимірного моделювання

у програмному середовищі КОМПАС-3D V17. За результатами моделювання (додаток Б, рис. Б.1) отримано: відстань до центру мас ($I_c = 0,037$ м), момент інерції відносно центру мас ($I_{c2} = 0,0001$ кг·м²). Схема визначення моменту інерції кріплення для ножа та його креслення наведені в додатку А.

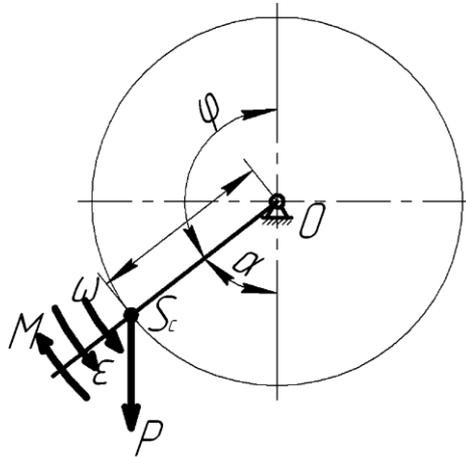


Рисунок 3.2 - Розрахункова схема маятника

Визначаємо момент інерції коромисла відносно його осі обертання за формулою:

$$I_{z_2} = I_c + ml^2 = 0.0001 + 0.181 \cdot 1.2^2 = 0.2607 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де m - маса деталі, l - відстань від осі обертання коромисла до її центру мас.

Сумарний момент інерції коромисла:

$$I_z = I_{z1} + I_{z2} = 0.0832 + 0.2607 = 0.3439 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Відстань від центру мас до осі обертання коромисла визначається:

$$r_{цм} = \frac{\sum m_i r_i}{\sum m} = \frac{0.1734 \cdot 0.6 + 0.1810 \cdot 1.2}{0.1734 + 0.1810} = 0.9064 \text{ м.}$$

де m_i - маси відповідно окремої деталі;

r_i - відстань від центрів ваги до осі обертання.

За диференціальним рівнянням руху коромисла визначимо швидкість леза:

$$I_z \cdot \varphi'' = M = P \cdot r \cdot \sin \varphi, \quad \text{звідки} \quad \varphi'' = \frac{P \cdot r \cdot \sin \varphi}{I_z},$$

де I_z – момент інерції коромисла відносно осі обертання,

φ – кут повороту коромисла від крайнього верхнього положення (рис. 3.2),

φ'' – кутове прискорення коромисла (друга похідна від кута повороту),

G – зусилля ваги коромисла, прикладене до його центра мас,

M – момент сил інерції коромисла,

r – відстань від осі обертання до центру мас коромисла.

Для розв'язання рівняння руху застосовується заміна [24]: $\varphi' = z$, що дозволяє привести диференціальне рівняння до зручного для інтегрування вигляду:

$$z' = \varphi'' = \frac{\text{Pr} \sin \varphi}{J_z}$$

$$\text{Так як } \varphi' = z, \text{ тому } \varphi'' = \frac{dz}{d\varphi} z; \quad \frac{dz}{d\varphi} z = \frac{\text{Pr}}{J_z} \sin \varphi, \quad \int z dz = \int \frac{\text{Pr}}{J_z} \sin \varphi d\varphi$$

$$\frac{z^2}{2} = -\frac{\text{Pr}}{J_z} \cos \varphi + C, \quad z^2 = -2 \frac{\text{Pr}}{J_z} \cos \varphi + c$$

Згідно прийнятої заміни $z = \varphi'$:

$$\varphi'^2 = C - 2 \frac{\text{Pr}}{J_z} \cos \varphi, \quad \varphi' = \sqrt{C - \frac{2\text{Pr}}{J_z} \cos \varphi}$$

Із початкових умов, визначаємо вільний член C $\varphi_0'^2 = 0$; $\varphi = \varphi_0$:

$$C = 2 \frac{\text{Pr}}{J_z} \cos \varphi_0$$

$$\varphi' = \sqrt{2 \frac{\text{Pr}}{J_z} \cos \varphi_0 - 2 \frac{\text{Pr}}{J_z} \cos \varphi} = \sqrt{2 \frac{\text{Pr}}{J_z} (\cos \varphi_0 - \cos \varphi)}$$

Цей підхід спрощує розрахунок кутових прискорень та моментів сил інерції коромисла, необхідних для визначення швидкості леза.

Швидкість вимірюємо в нижньому положенні коромисла, тому $\varphi = \pi$; $\cos \pi = -1$. Використаємо кут α для зручності вимірювань положення коромисла (рис. 3.2); $\alpha = \pi - \varphi$.

$$\varphi' = \omega = \sqrt{2 \frac{\text{Pr}}{J_z} (\cos \varphi + 1)} = \sqrt{2 \frac{\text{Pr}}{J_z} (\cos(\pi - \alpha) + 1)} = \sqrt{2 \frac{\text{Pr}}{J_z} (1 - \cos \alpha)}$$

(застосуємо правило: $\cos(\pi - \alpha) = -\cos \alpha$).

Якщо виразити кутову швидкість як лінійну: $\omega = V/R$, дістаємо кінцевий вираз для визначення швидкості руху леза при різанні:

$$V = R \sqrt{2 \frac{Pr}{J_z} (1 - \cos \alpha)},$$

де R – плече коромисла.

Враховуючи, що до складу коромисла входить декілька деталей, отримаємо:

$$V = R \sqrt{2 \frac{\sum P_i r_i}{J_z} (1 - \cos \alpha)}, \quad (3.1)$$

де P_i – вага окремої деталі коромисла,

r_i – відстань від центру мас цієї деталі до осі обертання коромисла.

Розрахункові значення швидкості леза на торці коромисла за формулою (3.1) наведені в додатку А та на рис. 3.2.

Отримані дані про швидкість леза використовуються для визначення режимних параметрів роботи установки та розрахунку зусилля різання. Знаючи швидкість леза та час його занурення в продукт, можна визначити глибину врізання та динамічні характеристики руху леза. Це дозволяє оцінити вплив геометрії коромисла та моменту інерції на ефективність різального процесу і оптимізувати параметри роботи установки.

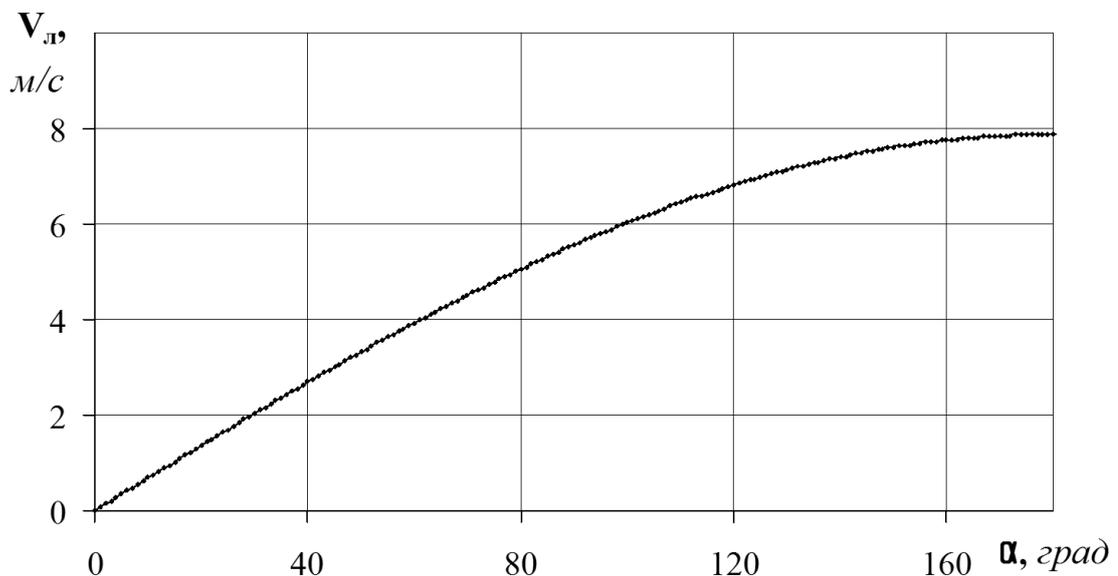


Рисунок 3.3 - Вплив кута підйому коромисла на швидкість леза в продукті.

Робота, виконана на процесі різання, визначається за формулою:

$$A = \sum P \cdot (h_1 - h_2) = \sum P \cdot r (\cos \alpha - \cos \beta), \quad (3.2)$$

де m – сумарна маса всіх деталей коромисла,

h_1 – висота центра мас коромисла у вихідному положенні,
 h_2 – висота центра мас після виконання роботи,
 r – відстань від осі обертання до центру мас коромисла,
 α – кут початкового положення коромисла,
 β – кут підйому коромисла після виконання роботи.

Цей вираз дозволяє оцінити вплив початкового кута та геометричних характеристик коромисла на кінетику руху леза та енергію, витрачену на розрізання продукту.

3.3 Методика проведення досліджень

Дослідження виконувалися в наступному порядку. Спочатку виготовлялися дослідні зразки хліба визначеної товщини, які встановлювалися у тримач 10 (рис. 3.1). Коромисло маятника з закріпленим лезом піднімалося на задані кути α (наприклад, 10° , 20° , 30°) і відпускалося, розрізаючи зразок. Після завершення різання фіксувався кут β , на який піднімалося коромисло маятника.

На основі зафіксованих значень кутів за формулою (3.1) обчислювали швидкість входу леза в продукт ($V_{вх}$, м/с).

Для врахування втрат енергії, що виникає через опір у підшипникових вузлах і повітря, проводили додаткові вимірювання кута підйому коромисла на холостому ході при різних значеннях початкового кута підйому.

Використовуючи отримані дані, та формулу (3.1), визначали також швидкість леза в момент виходу з продукту. Це дозволяє оцінити динаміку руху леза та розрахувати кінетичні характеристики процесу різання, необхідні для аналізу режимних параметрів установки.

$$V_{вих} = R \sqrt{2 \frac{\sum P_i r_i}{J} (1 - \cos(\beta + (\alpha - \beta_{впр})))}, \text{ м/с.} \quad (3.3)$$

При моделюванні процесу переміщення леза в шарі продукту приймаємо, що швидкість леза при врізанні змінюється за лінійним законом. Для експериментального підтвердження цього положення визначали зміну швидкості леза в залежності від глибини його занурення в продукт.

Існуючі методики передбачають використання відеофіксації переміщень леза у певні проміжки часу [18]. У нашому випадку через високі швидкості руху леза застосування цього методу неможливе. Тому було запропоновано альтернативний підхід:

Вирізалися шматки продукту певної товщини, які розрізали на експериментальній установці (рис. 3.1). Під час розрізання фіксувалися швидкості входу та виходу леза з продукту за формулами (3.1) та (3.3). Потім брали наступний шматок продукту більшої товщини, зберігаючи ту ж початкову швидкість входу леза, і вимірювали швидкість виходу. Процедуру повторювали для декількох товщин шматків.

За допомогою цих вимірювань можна визначити зміну швидкості леза на різних глибинах, які відповідають товщині нарізаних шматків. Дослідження проводили при різних початкових швидкостях леза та різному часі витримування хліба перед нарізанням.

Середня швидкість леза в продукті обчислювалася за формулою:

$$V_{cp} = \frac{V_{вх} + V_{вих}}{2}, \text{ м/с.} \quad (3.4)$$

Для визначення зусилля різання залежно від швидкості руху леза в продукті та його структурно-механічних властивостей застосовують математичне моделювання процесу переміщення леза. Вивід математичної моделі та результати моделювання представлені в окремому розділі дисертації.

Підставивши експериментально отримані дані в математичну модель (2.6), можна визначити зусилля різання окремо для м'якуша та скоринки хліба. Це дозволяє оцінити вплив часу витримування хліба, швидкості леза та структурно-механічних властивостей продукту на величину зусилля різання.

Проведена методика дозволяє визначити швидкість руху леза в продукті та відповідні зусилля різання з урахуванням його структурно-механічних властивостей. Експериментальні вимірювання швидкостей входу і виходу леза в поєднанні з математичною моделлю забезпечують точну оцінку зусиль різання окремо для м'якуша та скоринки хліба. Запропонований підхід також дозволяє враховувати вплив часу витримування продукту та початкової

швидкості леза, що робить методику універсальною для аналізу різних режимів роботи різального обладнання.

Висновок до третього розділу

У розділі досліджено експериментальну установку та визначено режимні параметри її роботи для вивчення процесу різання хліба. Описано конструкцію маятникової установки, способи регулювання швидкості леза шляхом зміни кута відпуску коромисла та моменту інерції, а також геометричні характеристики леза, що використовувалося в експерименті.

Розроблена методика експериментальних досліджень дозволяє визначати швидкість входу та виходу леза в продукт, враховуючи втрати енергії на опір руху коромисла та вплив підшипникових вузлів і повітря. Підтверджено лінійну зміну швидкості леза в продукті за глибиною його занурення шляхом проведення серії експериментів із різною товщиною нарізаних шматків.

Отримані експериментальні дані, поєднані з математичною моделлю руху леза, дозволяють визначати зусилля різання окремо для м'якуша та скоринки хліба. Крім того, встановлено залежність зусилля різання від часу витримування хліба, швидкості леза та його структурно-механічних властивостей, що дає можливість оптимізувати параметри роботи різального обладнання та підвищити ефективність процесу різання.

РОЗДІЛ 4

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ХЛІБОРІЗАЛЬНОЇ МАШИНИ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів різального інструменту

У результаті проведених досліджень процесу різання були отримані значення питомої роботи та зусилля різання для випадку нормального переміщення леза в продукті, тобто при рубаючому способі різання. Відомо, що для в'язко-пружних матеріалів, до яких належить і хліб, саме рубаюче різання забезпечує мінімальні зусилля та високу якість обробки [9]. Однак реалізувати такий спосіб різання по всій довжині продукту за один прохід практично неможливо, оскільки під дією леза матеріал деформується та зминається. Частково дану проблему можна вирішити застосуванням ковзального різання, проте цей процес характеризується низькою продуктивністю і підвищеними енерговитратами.

Рубаюче різання стає ефективним за умови, що заглиблення леза в продукт відбувається поступово, малими порціями, із збільшенням глибини врізання під час кожного наступного циклу. Це добре демонструє використана експериментальна установка з маятниковим механізмом (рис. 3.1): щоразу після розрізання коромисло з лезом піднімається на менший кут, забезпечуючи більшу глибину занурення під час наступного руху. При такому підході зминаючі деформації виникають лише в локальній зоні контакту леза з матеріалом і рівномірно розподіляються по об'єму продукту. Завдяки цьому внутрішні напруження не досягають критичних значень, і хліб не зазнає руйнування або зминання під ріжучою кромкою.

Запропонований принцип рубаючого різання може бути ефективно реалізований у стрічкових ножах із зубчастою ріжучою кромкою. У такій системі рух ножа відбувається переважно в тангенціальному напрямі відносно поверхні продукту, а кожен зуб виконує локальне розрубне проникнення в

матеріал, що за своєю суттю еквівалентно нормальному різанню. Це можливо за умови, що тангенціальна складова швидкості значно перевищує нормальну, а сам процес різання відбувається виключно у площині тангенціального переміщення.

Для коректності подальших міркувань необхідно уточнити термінологічний апарат, застосований у цьому розділі. У науковій літературі відсутня уніфікована класифікація способів різання, що базується на співвідношенні нормальної та тангенціальної швидкостей, а також на геометричних параметрах положення ножа. Тому використовуємо підхід, запропонований Резніком Н.Є. [13, 17], згідно з яким:

- рубаюче різання – заглиблення леза відбувається лише у нормальному до продукту напрямі;
- різання під кутом – лезо нахилене під певним кутом, але занурюється в матеріал переважно у нормальному напрямку;
- ковзаюче різання – лезо занурюється в продукт по нормалі, одночасно переміщуючись уздовж його поверхні з певною тангенціальною швидкістю.

У всіх наведених випадках лезо вважається гладким і плоским (рис. 1.3, в). Саме в межах такої класифікації сформульовано усі висновки в межах розділу. Варто зазначити, що деякі автори визначають ковзаюче різання через наявність мікронерівностей на ріжучій кромці, які діють аналогічно зубцям стрічкового ножа. Оскільки це питання виходить за межі даної роботи, у подальших міркуваннях прийнято припущення про абсолютну гладкість ріжучої кромки.

Слід ураховувати, що геометрія зубця стрічкового ножа може змінювати реальний вид різання. Якщо зуб має кут нахилу, то у момент взаємодії з продуктом він фактично здійснює різання під певним кутом. Це впливає на ефективну гостроту леза [18]: зі зменшенням гостроти збільшуються локальні напруження в зоні контакту, досягаючи критичних значень за менших зусиль різання. Відповідно, зменшуються як сили різання, так і енергетичні затрати процесу.

На рис. 4.1 наведено кінематичну схему процесу різання зубчастим ножом з основними параметрами руху та взаємодії з продуктом. При цьому один зубець забезпечує формування надрізу на глибину b , яка визначає частку проникнення леза в матеріал за один цикл взаємодії.

$$b = \frac{V_n}{V_t} \cdot S = \left[\begin{array}{c} \frac{M}{c} \\ \frac{c}{M} \\ \frac{M}{c} \end{array} M = M \right], \text{ м}$$

де V_n , V_t - швидкість стрічкового ножа відповідно нормальна та тангенціальна, S - крок між зубцями.

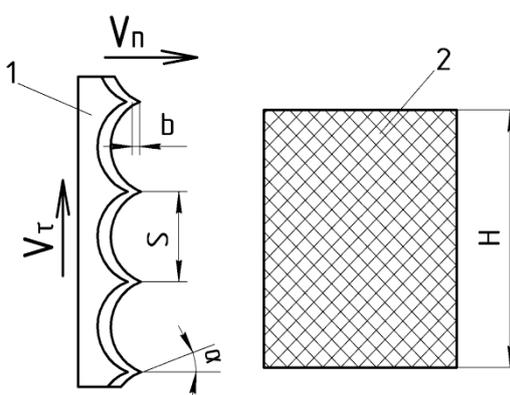


Рисунок 4.1 - Схема різання зубчастим ножом стрічкового типу:

1- зубчастий ніж; 2 - хліб.

Зусилля, яке створює окремих зубець ножа під час проникнення в матеріал, позначимо як $P_{зуб}$. Воно визначається співвідношенням:

$$P_{зуб} = P_{різ}^{num} \cdot b, \text{ Н}$$

де k - питома зусилля різання (Н/м), величина якого характеризує структурно-механічні властивості продукту та змінюється залежно від швидкості переміщення ріжучої кромки;

b - глибина врізання одного зубця.

Сумарна сила (P), що прикладається до стрічкового ножа в тангенціальному напрямі, й утворюється як результат одночасної дії декількох зубців у зоні різання, визначається виразом:

$$P = P_{зуб} \cdot \frac{H}{S} = P_{різ}^{num} \cdot \frac{V_n}{V_t} \cdot H, \text{ Н}$$

де H - довжина ділянки продукту (вздовж траєкторії ножа), яку перетинає зубець у процесі різання.

Значення питомого зусилля різання $P_{різ}^{num}$ було отримане експериментально на основі математичної моделі (формула 3.6) для леза з конкретними параметрами гостроти та кута заточки. Важливо зауважити, що ці два параметри - гострота ріжучої кромки та кут її заточки - не є функціонально пов'язаними. Гострота визначається якістю виготовлення леза та ступенем його зношування під час експлуатації, тому підтримувати її сталою протягом усього періоду роботи практично неможливо.

У зв'язку з цим виникає задача коригування зусилля різання для випадку, коли фактична гострота леза відрізняється від тієї, за якої було отримано експериментальне значення питомих зусиль різання.

Аналіз наукових праць з теорії механіки різання показує, що зміна гостроти ріжучої кромки в межах до 50% приводить до пропорційної зміни критичного напруження різання, а відповідно й сили різання [16]. Тобто, у вказаних межах припускається лінійна залежність між гостротою леза та величиною зусилля різання.

З урахуванням цього виконуються перерахунки питомого зусилля різання $P_{різ(\delta)}^{num}$ для реального леза з фактичною гостротою δ :

$$P_{різ(\delta)}^{num} = P_{різ}^{num} \cdot \frac{\delta}{\delta_{експ}}$$

де $\delta_{експ}$ - питома гострота різання, визначене експериментально при еталонній гостроті $\delta_{експ} = 0$;

Оскільки ріжуча кромка зубця має нахил відносно напрямку руху ножа, фактична гострота кромки у момент контакту із матеріалом трансформується. Тобто при куті нахилу α ефективна (трансформована) гострота δ_1 визначається як:

$$\delta_1 = \delta \cos \alpha ;$$

де δ – номінальна гострота кромки,

α – кут нахилу зубця відносно напрямку різання. У розрахунках слід використовувати саме значення трансформованої гостроти δ_1 .

Враховуючи попередні співвідношення для сили одного зубця ($P_{зуб} = k \cdot b$) та для сумарної тангенціальної сили ($P = P_{зуб} \cdot H$), а також корекцію питомого зусилля на зміну гостроти (лінійна залежність у межах до 50%), остаточний вираз для сумарного зусилля різання стрічковим ножом із зубчастою кромкою має вигляд:

$$P = k\delta_1 \cdot b \cdot H,$$

де кориговане питоме зусилля:

$$k\delta_1 = k_0 \frac{\delta_1}{\delta_0} = k_0 \frac{\delta \cdot \cos \alpha}{\delta_0},$$

а отже, розгорнуто:

$$P = k_0 \frac{\delta \cdot \cos \alpha}{\delta_0} \cdot b \cdot H,$$

де P - сумарна тангенціальна сила, H ;

k_0 - питоме зусилля різання, визначене експериментально для еталонної гостроти (δ_0 , Н/м);

δ - фактична гострота кромки;

α - кут нахилу зубця відносно напрямку різання;

b - глибина врізання одного зубця, м;

H - довжина шару продукту, через який проходить зубець при різанні, м.

З наведеного виразу видно, що при збільшенні кута нахилу α (тобто при меншому ($\cos \alpha$) ефективне питоме зусилля зменшується, що зумовлює зниження сумарного зусилля P за інших рівних умов. Цю формулу можна використовувати для оцінки впливу геометрії зубця та фактичної гостроти леза на навантаження на привід ножа й на енерговитрати процесу.

Для перевірки адекватності отриманого теоретичного опису процесу різання проведено експеримент на установці для нарізання хліба (рис. 4.4), конструктивним елементом якої є стрічковий ніж із зубчастою ріжучою кромкою. Під час дослідження вимірювали тангенціальні складові зусилля різання, тобто силу натягу стрічкового ножа.

У тих самих умовах було виконано розрахунок зусилля різання за виведеним рівнянням (4.1), після чого здійснено порівняння отриманих значень з експериментальними даними. Узагальнені результати наведено в таблицях додатку (табл. 2.6) і на графіку рис. 4.2.

Умови проведення експерименту:

- Час витримування хліба перед нарізанням: 0; 1; 6 год.
- Тангенціальна швидкість руху ножа (V_t , м/с): 1.5; 3.0; 4.5; 6.0; 7.5.
- Швидкість подачі продукту: ($V_n = 0.025$ м/с).
- Довжина відрізуваного зразка: ($H = 0.1$ м).
- Кут заточки ріжучої кромки: 30° .
- Фактична гострота леза: $\delta = 25$ мкм.
- Кут нахилу зубця (кут різання): $\alpha = 65^\circ$.

Порівняння розрахункових і дослідних результатів показало, що розбіжність між ними не перевищує 8 %, що підтверджує достатню точність запропонованої моделі та можливість її використання для практичних розрахунків стрічкових ножів.

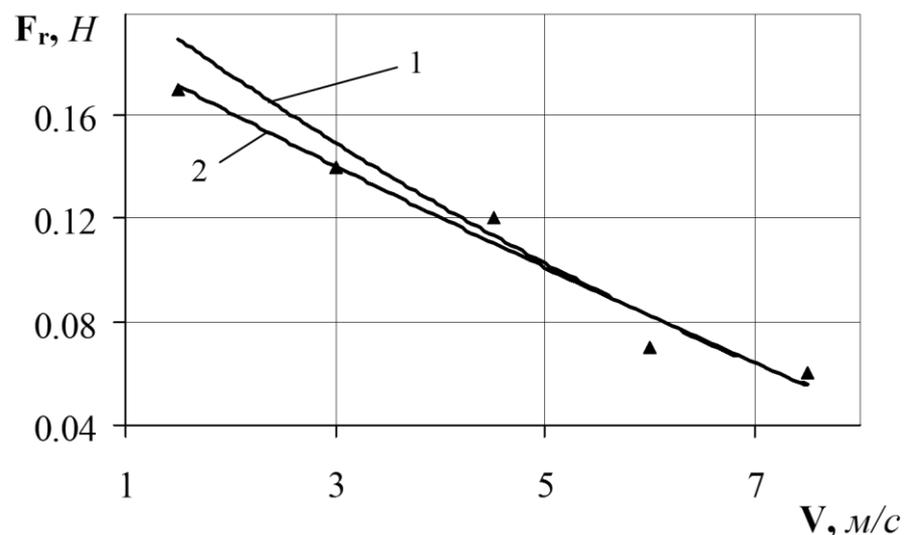


Рисунок 4.2 - Порівняльні графіки зусилля різання 1-розрахункових, 2-експериментальних.

4.2 Обґрунтування конструкції хліборізальної машини

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень процесу різання хлібобулочних виробів сформовано рекомендації щодо створення ефективних конструкцій хліборізального обладнання. При проектуванні враховано встановлені закономірності формування зусиль різання, вплив геометричних параметрів леза, характер взаємодії ножа з продуктом та оптимальні режими роботи.

Однією з ключових вимог до сучасних потокових ліній нарізання хліба є підвищення продуктивності та стабільності роботи різальних механізмів при одночасному зниженні енерговитрат і підвищенні якості зрізу. У цьому зв'язку була сформована концепція обладнання, у якому реалізовано такі конструкторські рішення:

- використання рекомендованих швидкостей різання, визначених у ході досліджень, що забезпечують мінімальні динамічні навантаження та високу якість зрізу;
- скорочення площ контакту між боковою поверхнею ножа та продуктом, що сприяє зменшенню тертя та прилипання;
- зниження питомих навантажень на поверхню контакту, що покращує стійкість різального органу та подовжує ресурс його роботи;
- адаптація конструкції до автоматизованих потокових ліній, що дозволяє виключити суттєві обсяги ручної праці, характерні для більшості експлуатованих моделей хліборізального обладнання.

Запропонована конструкція хліборізальної машини (рис. 4.3) ґрунтується на використанні нескінченних струнотних різальних елементів, які рухаються між двома шківками. Це забезпечує стабільне натягування, рівномірний рух та здатність виконувати високочастотні різальні операції з мінімальною вібрацією.

Основні вузли машини включають:

- електродвигун 1, який забезпечує постійний привід системи;

- пасову передачу 2, що виконує одночасно дві функції – передавання руху та захисту від перевантажень шляхом контрольованого проковзування;
- приводний 3 та натяжний 4 барабани, між якими циркулюють робочі струни 6;
- напрямні ролики 5, які стабілізують положення струнних елементів у робочій зоні;
- конвеєрну подачу 7, що транспортує хліб у зону різання.

Рух несінченних струн забезпечує чистий і рівномірний розріз без значного деформування м'якшки, а також дозволяє ефективно розрізати продукт різного ступеня свіжості. Завдяки використанню пасової передачі як захисного елемента досягається підвищення надійності: у випадку короткочасного перевантаження вона виконує функцію запобіжної муфти, зберігаючи струнні ножі від розриву.

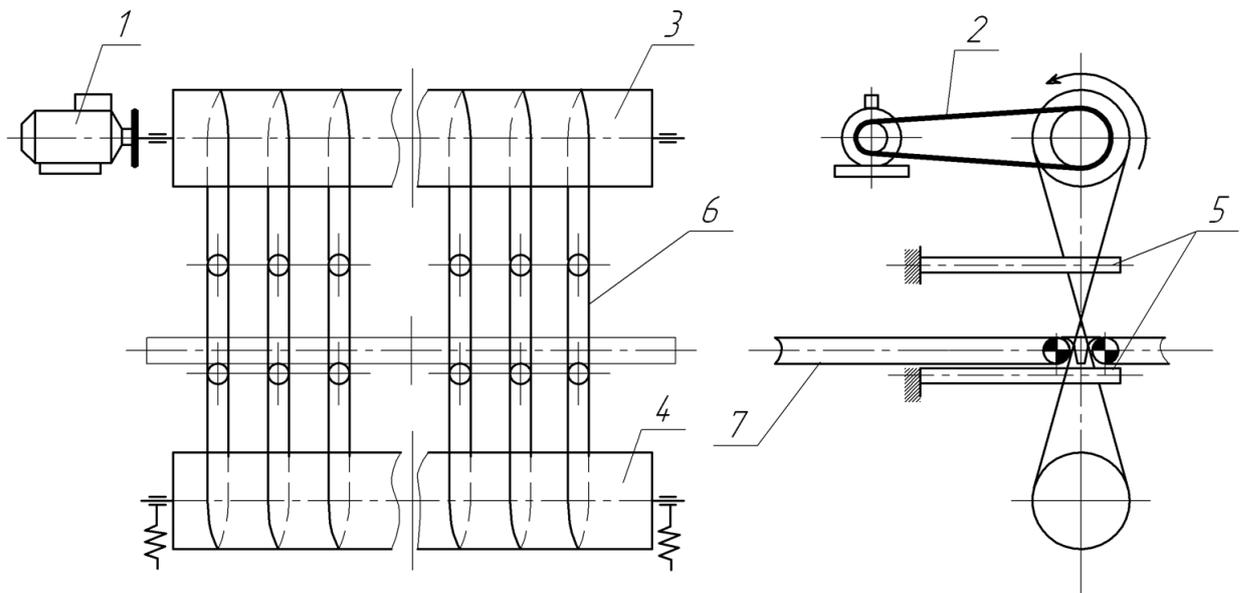


Рисунок 4.3 – Схема хліборізальної машини

Використання струни як різального елемента у хліборізальному обладнанні дає змогу суттєво знизити енерговитрати, пов'язані з процесом різання. Це зумовлено значним скороченням площі контакту між різальним органом і продуктом порівняно з пластинчастими ножами. Зменшення сил тертя сприяє отриманню більш чистої та рівної поверхні зрізу, зменшує кількість крихт та відходів, а також забезпечує можливість якісного нарізання

щойно випечених, здобних і високопористих виробів, що є проблематичним для традиційного ножового інструменту.

Додатковою перевагою є зниження собівартості продукції завдяки простоті конструкції машини, меншій потребі в енергоресурсах та підвищенню довговічності різального органу. Крім того, робота такої машини супроводжується нижчим рівнем шуму, а конструктивне виконання забезпечує підвищену безпеку оператора, що позитивно впливає на умови праці.

Разом з тим, застосування струнних різальних елементів має і певне обмеження, зокрема – порівняно низьку продуктивність при різанні твердої скоринки хліба, що потребує удосконалення режимів роботи або застосування комбінованих різальних систем.

Схему роботи хліборізальної машини для нарізання хліба та сухарних шпал представлено на рис. 4.4. Вироби надходять на приймальний стіл 1 безпосередньо з поду печі. Стіл здійснює вертикальні коливальні рухи від приводу 2, забезпечуючи стабільну подачу продукту в зону різання. Стрічковий ніж 5, який рухається по шківам 6, закріпленим на траверсі 4, виконує відокремлення скибок від безперервно поданого хліба 8. Привід 7 забезпечує рух стрічкового ножа, тоді як прижимні ролики 3 стабілізують переміщення виробу у напрямку подачі.

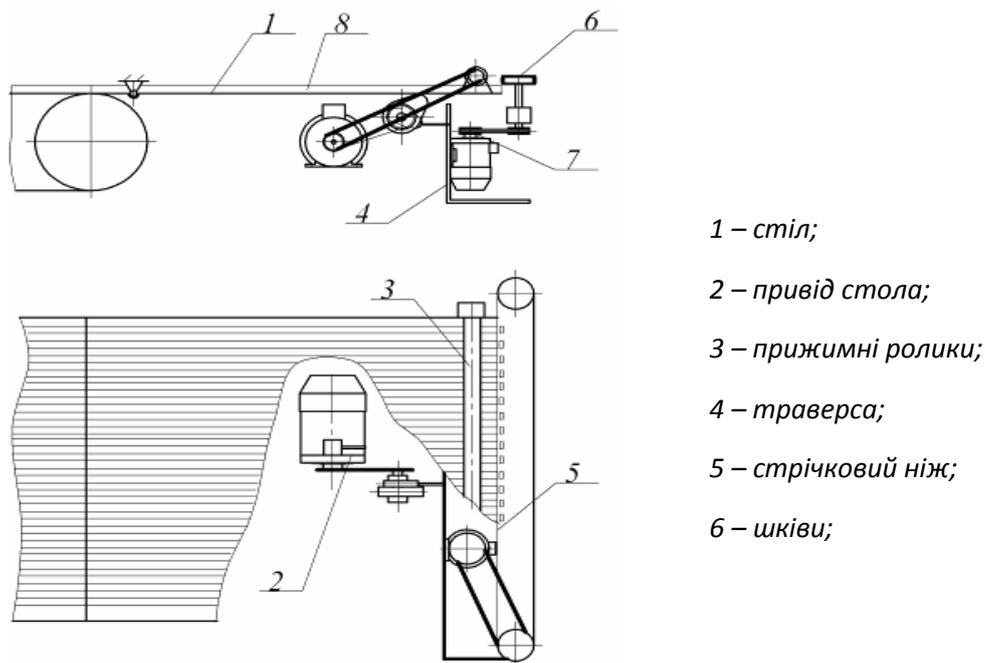


Рисунок 4.4 – Схема хліборізальної машини

Під час формування скибки траверса 4 здійснює компенсуюче переміщення, що запобігає надмірному притисканню хліба до ножа та забезпечує рівномірність різання. Такий принцип роботи дозволяє формувати заготовки для виробництва сухарних виробів із високою точністю та стабільністю геометричних параметрів.

Запропонована конструкція забезпечує технічний результат, який суттєво відрізняє її від традиційних хліборізальних машин. Основною перевагою є можливість ефективного нарізання як звичайного подового або формового хліба, так і сухарних шпал, отриманих методом екструзії [10, 17, 18], що надходять на різання у вигляді безперервного джгута. Застосування одного стрічкового ножа замість багатоножової рамки усуває небажане деформування виробу під час контакту з пакетом ножів, характерне для традиційних конструкцій. Це дозволяє отримати чисту, рівну та неушкоджену поверхню зрізу, що підвищує якість кінцевого продукту.

Впровадження цієї хліборізальної машини у склад потокової лінії виробництва сухарних виробів дало можливість оптимізувати технологічний процес. Зокрема, вдалося скоротити виробничі площі та зменшити тривалість циклу виготовлення сухарів за рахунок виключення операції попереднього витримання сухарних шпал перед їх нарізанням.

На основі аналізу роботи існуючого хліборізального обладнання, результатів моделювання процесу різання та отриманих експериментальних даних була розроблена конструкція хліборізальної машини, у якій різальним елементом слугує пакет стрічкових зубчастих ножів, що рухаються між двома шківками. Такий різальний орган забезпечує підвищення продуктивності, стабільність параметрів різання та зниження енергетичних витрат у порівнянні з традиційними рішеннями.

Конструкція хліборізальної машини (рис. 4.5) орієнтована на роботу в поточковому режимі з подальшим автоматизованим пакуванням нарізаного хліба. Подавання виробу здійснюється з охолоджувального транспортера або вручну на механізм подачі 1, по якому хліб спрямовується до пакета стрічкових ножів 2. Різальний вузол утворений стрічковими ножами, що переміщуються

між двома барабанами: приводним нижнім барабаном 4, який отримує обертання від приводу 6, та верхнім натяжним барабаном 5.

У зоні різання стрічкові ножі проходять через систему направляючих роликів 3, які обертають різальну кромку ножа на 90° . Така компоновка роликів забезпечує можливість одночасного відрізання двох скибок одним ножем. Крім того, у площині різання ніж рухається в протилежних напрямках по різні боки направляючого ролика, що дозволяє зрівноважити сили взаємодії ножа з продуктом. Завдяки цьому хліб не захоплюється стрічкою ножа, а зберігається його стійке положення в зоні різання, що позитивно впливає на якість зрізу.

Після відділення скибки виріб потрапляє на приймальну площадку 6, де його положення контролює фотодатчик 7. Надходження сигналу від датчика активує механізм переміщення 8, який подає сформовану порцію хліба до пакувальної машини.

На підставі результатів проведених досліджень рекомендовано такі оптимальні параметри роботи устаткування: температура хліба перед різанням – близько 60°C (після витримання протягом 20 хв), швидкість руху стрічкового ножа – 6 м/с, швидкість подачі хліба – 0,05 м/с. За таких умов досягається висока продуктивність та забезпечується якісне різання свіжого хліба без руйнування м'якуша й зашліфовування скоринки.

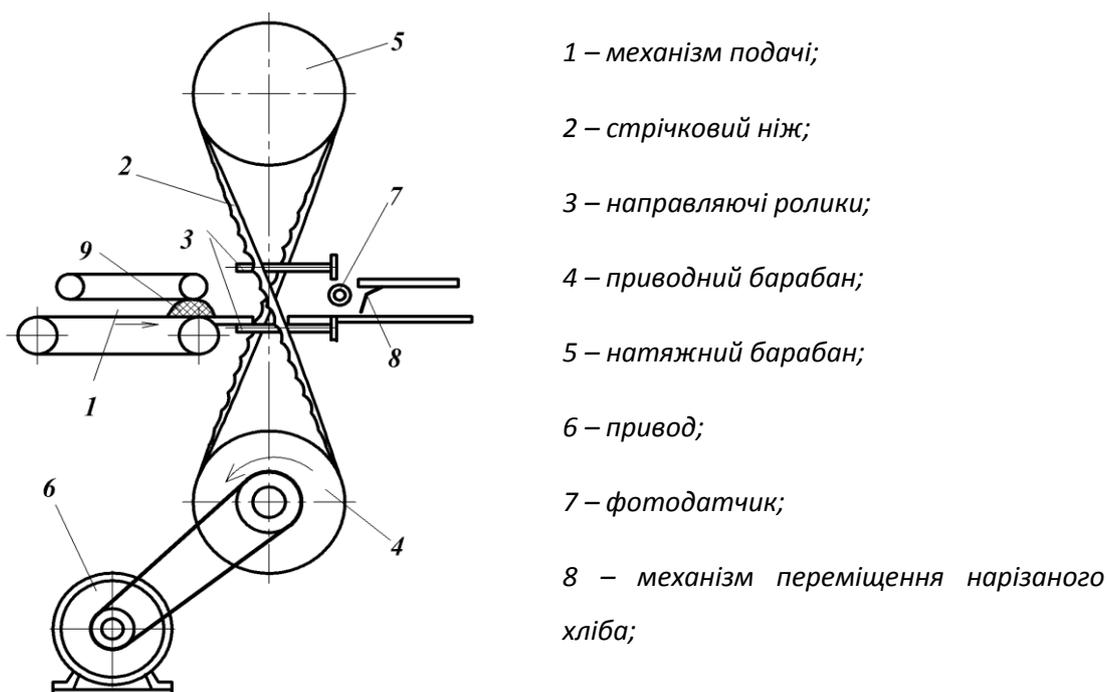


Рисунок 4.5 – Кінематична схема машини для нарізання хліба в потоці

Попри вдосконалення конструкції, у зазначеній машині зберігається характерний недолік усіх хліборізальних агрегатів рамного типу [13], а саме – деформація (зминання) хліба між ножами ножової рамки. Цей ефект виникає внаслідок одночасного контакту скибки з кількома ножами, що створює значні стискальні та тертьові навантаження на продукт.

Для усунення вказаної проблеми розроблено нову конструкцію хліборізальної машини, яка в цілому повторює кінематику попереднього варіанта (рис. 4.6, 4.7), проте має принципову відмінність – барабани, по яких переміщуються стрічкові ножі, встановлені під певним кутом до напрямку руху транспортера подачі.

Таке просторове розміщення барабанів забезпечує послідовний прохід хліба через кожен окремий ніж. У цьому випадку кожна скибка контактує з боковою поверхнею ножа лише з одного боку, що повністю усуває ефект одночасного стиснення скибки кількома ножами, характерний для рамних систем. Відсутність зминання призводить до істотного зниження питомого тиску та контактних напружень на боковій поверхні ножа.

Оскільки хліб не затискається між паралельними лезами, тертьові сили у зоні різання мінімізуються. Це запобігає появі дефектів зрізу – викришуванню м'якуша, його локальному стисканню чи шліфуванню поверхні скибки, що часто спостерігається в традиційних конструкціях обладнання. Таким чином, запропоноване компонування забезпечує високу якість різання та стабільність геометричних параметрів отриманих скибок.

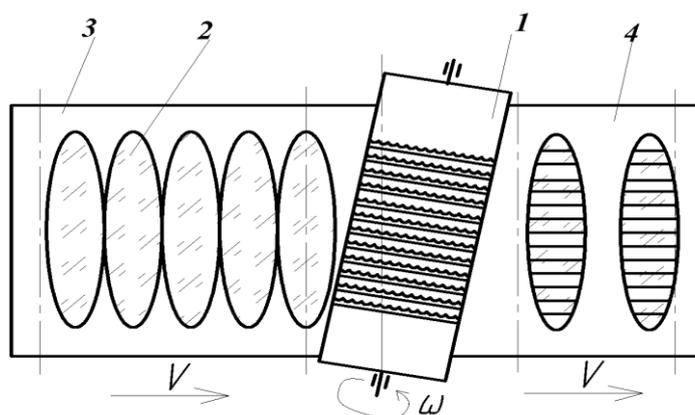


Рисунок 4.6 - Схема розташування барабанів відносно подачі батонів:

1 – барабан з ножами; 2 – хліб; 3 – транспортер подачі; 4 – механізм переміщення нарізаного хліба.

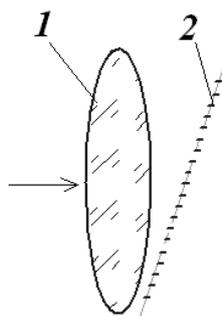


Рисунок 4.7 - Розташування пакету ножів відносно продукту:

1 – хліб; 2 – ножі.

У процесі розрізання на хлібний виріб діють суттєві зусилля, спрямовані на його зминання, які становлять важливу частку сумарного опору різанню. Запропоноване конструктивне рішення щодо просторового розміщення барабанів змінює характер взаємодії ножів із продуктом таким чином, що навантаження під час різання розподіляється більш рівномірно по всій товщині хліба. У результаті виріб демонструє вищу стійкість до деформації, ніж у традиційних машинах, де різання здійснюється одночасно всіма ножами в одній площині, яка є перпендикулярною до траєкторії його руху.

Завдяки такому підходу стає можливим якісне нарізання хліба навіть при зменшеному часі його вистоювання після випікання, коли матеріал має знижені пружні властивості та гірше повертається до початкової форми після деформування. Це дозволяє працювати з більш «м'яким» продуктом, що є недосяжним для обладнання рамного типу.

Скорочення необхідного періоду охолодження виробів перед різанням створює умови для організації безперервного технологічного процесу. Хліб може переміщуватися по лінії, що включає такі етапи: вихід із печі → транспортування → охолодження → нарізання → пакування, без проміжного складування чи додаткових операцій. Така побудова технологічного циклу забезпечує підвищення продуктивності, оптимізацію виробничих витрат і скорочення потреби в допоміжному обладнанні.

Попри значні експлуатаційні переваги, слід відзначити, що конструкція машини, поданої на рис. 4.6, є технологічно складнішою порівняно зі

стандартними рішеннями. Для її виготовлення та монтажу необхідні підвищена точність обробки деталей і ретельна юстировка вузлів. Додаткові конструктивні труднощі виникають і в системі подачі хліба до різальної зони, оскільки вона повинна забезпечувати стабільний рух продукту під різними кутами взаємодії з ножами. Збільшена довжина барабанів спричиняє зростання згинальних навантажень, що також висуває підвищені вимоги до міцності та жорсткості їхніх елементів.

Попри зазначені ускладнення, запропонована схема забезпечує значно вищий технічний ефект у порівнянні з традиційними хліборізальними машинами. Зниження питомого тиску на контактні поверхні та зменшення тертя дозволяють істотно збільшити швидкість руху ножів у продукті, не погіршуючи якість різання. Це, у свою чергу, сприяє зростанню продуктивності й забезпечує формування чистої, рівної поверхні зрізу без деформації чи «зашліфовування». Важливо й те, що така машина здатна ефективно нарізати свіжий, ще теплий хліб у поточному режимі, що є недосяжним для більшості існуючих типів хліборізального обладнання.

Для визначення режимів різання, зусиль різання та потужності приводу розробленої хліборізальної машини рис. 4.6 проведемо розрахунки за такими умовами: хліб нарізається після 20 хвилин витримки, при температурі м'якуша в центрі 60 °С, модуль пружності продукту дорівнює $E = 30$ кПа. При товщині ножа 0,7 мм та відстані між ножами 26 мм (що відповідає товщині скибки хліба 13 мм) визначається питомі навантаження на бокову поверхню ножа від м'якуша N_m та скоринки $N_{ск}$.

$$N_m = E_m x = E_m \frac{s}{B} = 30 \cdot \frac{0.7}{26} = 0.81 \text{ кПа};$$

$$N_{ск} = E_{ск} x = E_{ск} \frac{s}{B} = 550 \cdot \frac{0.7}{26} = 14.8 \text{ кПа},$$

де E - модуль пружності, кПа;

x - відносна деформація хліба;

s - товщина ножа, мм;

B - товщина шматка хліба, мм.

Швидкості руху леза обираємо з урахуванням умови запобігання викришуванню м'якуша [20]. При питомому навантаженні ($N = 0,81$ кПа) і часі витримки хліба 20 хв методом інтерполяції визначаємо максимальну швидкість леза ($V = 6$ м/с). Для такої швидкості та часу витримки хліба питомі зусилля різання становлять: для м'якуша – 1,8 кН/м, для скоринки – 25 кН/м.

З використанням формули 4.1 розраховуємо зусилля різання, що діє на один ніж:

$$P = (P_{\text{різ.мяк}}^{\text{нум}} \cdot H_{\text{мяк}} + P_{\text{різ.ск}}^{\text{нум}} \cdot H_{\text{ск}}) \cdot \frac{\delta \cos \alpha}{\delta_{\text{експ}}} \cdot \frac{V_n}{V_t} =$$

$$= (1,8 \cdot 0,06 + 25 \cdot 0,003) \cdot \frac{30 \cdot \cos 20}{30} \cdot \frac{0,05}{6} = 0,0014 \text{ кН}$$

де q - значення питомого зусилля різання, Н;

δ - гострота леза, мкм;

$\delta_{\text{експ}}$ - гострота леза в умовах проведення експерименту, мкм;

V_n, V_t - нормальна та тангенціальна швидкості ножа (подачі), м/с;

α - кут різання або нахил зубця, град;

H - висота шару продукту, м.

Для виробу довжиною 300 мм та товщиною скибки 13 мм одночасно нарізається 23 шматки. Тоді сумарне зусилля різання, що діє на всі ножі, визначається як:

$$P_{\text{сум}} = n \cdot P = 23 \cdot 0,0014 = 0,0322 \text{ кН},$$

де n - кількість шматків продукту, що нарізаються одночасно;

P - зусилля, що діє на один ніж, кН.

Зусилля тертя для одного ножа G та для всіх ножів $G_{\text{сум}}$ визначається за формулами:

$$G = 2(F_m S_m + F_{\text{ск}} S_{\text{ск}}) = 0,507 \cdot 0,0006 + 14,8 \cdot 0,000015 = 0,001052, \text{ кН};$$

$$G_{\text{сум}} = n \cdot G = 23 \cdot 0,001052 = 0,024, \text{ кН},$$

де $F_m, F_{\text{ск}}$ - напруження тертя м'якуша та скоринки по контактній поверхні, Па;

$S_m, S_{\text{ск}}$ - площі контакту м'якуша та скоринки з боковою поверхнею ножа, м².

Величини напружень тертя обрані на основі результатів проведених експериментальних досліджень:

$$G_{num} = 133 + 0,003 \cdot \tau^2 - 0,97 \cdot \tau - 0,000041 \cdot N^2 + 0,447 \cdot N - 0,00104 \cdot \tau \cdot N + 12,4 \cdot V. \quad (4.2)$$

$$G_{num} = 98,56 - 0,0015 \tau^2 + 0,60 \tau + 0,14 N + 31,9 V, \quad \text{Па} \quad (4.3)$$

Визначаємо потужність на усіх ножах:

$$N = (P_{сум} + G_{сум}) \cdot V = (0,032 + 0,024) \cdot 6 = 0,3366 \text{ кВт.}$$

Знаходимо потужність приводу за виразом:

$$N_{пр} = \frac{N}{\eta_{пр}} = \frac{0,193}{0,85} = 0,395 \text{ кВт,}$$

де $\eta_{пр}$ – ККД приводу.

У наведеному прикладі на подолання тертя продукту по поверхні ножа витрачається 43 % від сумарного зусилля різання та тертя. При цьому на різання м'якуша припадає 59 % загального зусилля різання, що свідчить про можливість зниження зусилля різання шляхом збільшення швидкості леза понад 6 м/с. Однак для запобігання викришуванню м'якуша необхідно зменшити питомий тиск продукту на поверхню ножа, наприклад, шляхом зменшення товщини ножа. Реалізувати це технічно складно. Альтернативними варіантами є збільшення товщини шматка або відстані між ножами, або використання одного ножа для нарізання продукту.

Розроблену хліборізальну машину рекомендовано застосовувати у дільниці фінішних операцій потокової лінії для виробництва нарізаного та запакованого хліба масою 0,7 кг, вищого гатунку (за ДСТУ 4583).

Висновок до четвертого розділу

Допустимі швидкості руху ножа суттєво впливають на продуктивність процесу різання. Для їх підвищення необхідно збільшити час витримування хліба перед нарізанням, що негативно позначається на його свіжості та споживчих властивостях. Альтернативним шляхом є зменшення питомого навантаження на поверхню контакту, наприклад, за рахунок зменшення товщини ножа або збільшення відстані між ножами в машинах рамного типу.

Створено хліборізальну машину, призначену для інтеграції у поточкові лінії виробництва нарізного батону. Основні переваги розробленої конструкції порівняно з існуючими машинами полягають у можливості нарізати хліб за короткий час витримування, забезпеченні високої якості нарізаної продукції, ефективній роботі в поточкових лініях та підвищенні продуктивності праці на підприємствах з виробництва нарізаного хліба.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Загальні положення

Установка для нарізання хліба є складним механізованим обладнанням, робота з яким потребує дотримання комплексних заходів безпеки. Основна мета охорони праці полягає у збереженні життя і здоров'я персоналу, а також забезпеченні безперервної та ефективної роботи виробничої лінії. Основними джерелами потенційної небезпеки є рухомі механічні частини установки, ріжучі ножі, електричні та пневматичні системи, а також можливе утворення пилу і крихт хліба.

Усі працівники повинні проходити вступний та первинний інструктаж, знати правила безпечного поводження з обладнанням, алгоритми аварійної зупинки та надання першої допомоги. Забезпечення робочого місця належним освітленням, вентиляцією та ергономічним розташуванням елементів установки зменшує ймовірність травм та підвищує ефективність роботи.

5.2 Організаційні заходи безпеки

Організаційні заходи передбачають комплекс заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків виробничого травматизму:

1. Підготовка персоналу: навчання працівників правилам безпеки, правильній експлуатації установки та алгоритмам дій у надзвичайних ситуаціях.

2. Інструктаж та контроль: щоденний короткий інструктаж перед початком зміни та періодичний контроль за дотриманням правил безпеки.

3. Контроль технічного стану: регулярні перевірки ріжучого механізму, подавача хліба, електрообладнання та блокувальних систем.

4. Розподіл зон доступу: визначення робочих зон для операторів, зон обслуговування та обмеження доступу сторонніх осіб.

5. Документування: ведення журналів обслуговування та реєстрація всіх інцидентів для подальшого аналізу.

5.3 Засоби індивідуального та колективного захисту

Для безпечної роботи персоналу використовується комплекс засобів захисту:

- Індивідуальні засоби: рукавиці, захисні окуляри, спецодяг, проти ковзне взуття, каски за необхідності.
- Колективні засоби: захисні кожухи та огороження ріжучих механізмів, сигнальні блоки, автоматичні зупинні системи, системи вентиляції для видалення пилу та дрібних частинок хліба.

Правильне використання цих засобів значно знижує ризик травм і сприяє стабільній роботі установки.

5.4 Ризики та заходи їх мінімізації

Основні ризики при роботі з установкою для нарізання хліба включають:

1. Механічні травми: різання, защемлення або удари рухомими частинами.

Мінімізується використанням захисних кожухів, блокувальних систем та дотриманням інструкцій з безпечної роботи.

2. Електротравми: коротке замикання або контакт з оголеними проводами.

Забезпечується ізоляцією електропроводки, регулярними перевірками та дотриманням правил експлуатації електрообладнання.

3. Пожежна небезпека: нагрів електрообладнання, накопичення пилу.

Мінімізується утриманням робочої зони в чистоті, наявністю вогнегасників та організацією навчання персоналу.

4. Травми через неправильне поводження з виробами: падіння або защемлення хлібобулочних виробів.

Контролюється правильним розташуванням подавачів та швидкістю руху виробів.

5.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях та розробка алгоритму дій

До надзвичайних ситуацій відносяться :

Механічні аварії: у випадку заклинювання ножів або несправності подавача хліба установка повинна бути негайно зупинена. Рухомі частини блокуються до усунення несправності.

Електроаварії: коротке замикання або перебої живлення вимагають відключення установки від мережі та повідомлення електрика.

Пожежа: працівники повинні знати розташування вогнегасників та евакуаційних виходів; негайно вживати заходів для локалізації загоряння.

Травми персоналу: надавати першу допомогу при порізах, ударах або опіках, при необхідності викликати медичну допомогу.

Установка для нарізання хліба є потенційно небезпечним обладнанням, тому важливо мати чітко визначені дії персоналу при аваріях чи інших непередбачуваних ситуаціях. Алгоритм дій передбачає наступні етапи:

1. Виявлення надзвичайної ситуації

- Оператор або технічний персонал повинен негайно реагувати на сторонні звуки, запахи, дим, заклинювання механізмів або перебої в електроживленні.
- При виявленні небезпечного фактора потрібно повідомити усіх присутніх у робочій зоні.

2. Негайна зупинка установки

- Відключити живлення або активувати аварійну зупинку установки.
- Забезпечити блокування рухомих частин ріжучого механізму до усунення несправності.

3. Оцінка ризику та локалізація небезпеки

- Визначити характер аварії: механічна, електрична, пожежна або травматична.

- Вжити заходів для локалізації небезпеки: відключення електроживлення, ізоляція рухомих частин, видалення легкозаймистих матеріалів з робочої зони.

4. Надання першої допомоги

- При травмах працівників: зупинити кровотечу, обробити порізи або опіки, при необхідності забезпечити стабілізацію постраждалого.
- Викликати медичну допомогу у разі серйозних травм.

5. Інформування відповідальних осіб

- Повідомити керівництво та служби технічного обслуговування про аварію.
- За необхідності повідомити пожежну службу або інші екстрені служби.

6. Усунення несправності та відновлення роботи

- Після локалізації небезпеки виконати перевірку технічного стану ріжучого механізму, електропроводки та систем подачі.
- Усунути причину аварії відповідно до інструкцій та лише після цього поновлювати роботу установки.

7. Аналіз інциденту та профілактика

- За результатами надзвичайної ситуації провести розбір інциденту, визначити причини та розробити заходи для запобігання повторенню.
- Переглянути інструкції, алгоритми дій та навчання персоналу.

Цей алгоритм забезпечує чітку послідовність дій працівників у разі аварій, мінімізує ризик травматизму та зменшує можливі виробничі втрати.

Висновок до п'ятого розділу

Систематичне впровадження заходів охорони праці та безпеки дозволяє: знизити ризик травматизму на виробництві; підвищити продуктивність та стабільність роботи установки; забезпечити безперервну роботу потокової лінії; зменшити матеріальні втрати та знизити витрати на ліквідацію аварій.

Запропоновані організаційні та технічні заходи можуть бути використані при впровадженні та модернізації виробничих ліній хлібопекарських підприємств для забезпечення високих стандартів безпеки та ефективності роботи.

РОЗДІЛ 6

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

Таблиця 6.1 - Початкові дані

№	Показники	Одиниці виміру	Величина
1	Вартість обладнання	тис.грн.	1300
2	Витрати на освоєння і монтаж	%	16,6
3	Об'єм виробництва	т/рік	9867
4	Ціна на сировину		
	борошно вищ. гат.	грн/т	1700
	сіть	грн/кг	0,11
	цукор	грн/кг	3,40
	дріжджі	грн/кг	2,90
	маргарин	грн/кг	3,80
	вода	грн/м ³	1,40
5	Кількість діб роботи лінії на рік	діб	330
6	Кількість змін роботи	зміна	2
7	Кількість працюючих на лінії в зміну	чоловік	5
8	Премії	%	50
9	Відрахування на соц. страхування	%	38,3
10	Амортизаційні відрахування	%	15
11	Ремонтний фонд	%	5
12	Вартість 1 кВт/год	грн.	2,36

13	Вартість 1 Гкал пари	грн.	95,00
----	----------------------	------	-------

Витрати на підготовку і освоєння виробництва складатимуть 16.6% від ціни обладнання, тобто $1300 \cdot 16.6 / 100 = 215,8$ тис. грн. Враховуючи норми амортизації, лінія служитиме 6.67 років.

Розраховуємо окремі статі витрат.

1. Сировина і основні матеріали:

Рецептура виробів, які виготовлятимуться на лінії, відповідає рецептурі батону нарізного вищого ґатунку (табл. 5.2)

2. Зворотні відходи

В цій статті враховують відходи виробництва від сировини, напівфабрикатів, і відходи різання у вигляді крихт, які утворилися під час виготовлення продукції і можуть бути використані на підприємстві або бути продані іншому споживачеві.

Приймаємо кількість відходів 5 % від тони виробів, що дорівнює 0.05 тони. Щоб отримати величину цих відходів у вартісному вигляді, треба їх кількість помножити на половину вартості борошна:

$$0.05 \cdot 1700 / 2 = 42.5 \text{ грн/т}$$

Потребу і вартість палива для технологічних потреб обчислюють з норм витрат умовного палива на одиницю продукції, коефіцієнта переводу натурального палива в умовне і ціни на паливо за заводськими даними.

Потребу і вартість палива для технологічних потреб обчислюють з норм витрат умовного палива на одиницю продукції, коефіцієнта переводу натурального палива в умовне і ціни на паливо за заводськими даними. Витрати натурального палива, м³:

$$B_n = B_{ум.п.} \cdot E$$

де $B_{ум.п.}$ – витрати умовного палива; E – еквівалентний коефіцієнт.

$$B_n = 47,5 \cdot 1,2 = 57,0$$

Розрахунок кількості і вартості палива на технологічні потреби:

$$57,0 \cdot 1,3 = 74,1 \text{ грн/т}$$

Розрахунок кількості і вартості електроенергії на технологічні потреби:

$$B_{ел} = N \cdot Ц,$$

де N – норма витрат електроенергії на технологічні потреби, $N=66$ кВт/год·т; $Ц$ – вартість 1 кВт/год. енергії.

$$B_{ел} = 66 \cdot 2,36 = 89,76 \frac{\text{грн}}{\text{т}}$$

Розрахунок витрат на пару:

$$B_{пару} = N_{пару} \cdot Ц_{пару},$$

де $N_{пару}$ – норма витрат пари на 1 тону виробів $N_{пару} = 0,06$ Гкал/т;

$Ц_{пару}$ – вартість 1 Гкал пари.

$$B_{пару} = 0,06 \cdot 95 = 4,20 \text{ грн/т}$$

Всього витрати на електроенергію і пару:

$$74,1 + 89,76 + 4,20 = 168,06 \text{ грн/т}$$

Висновок до шостого розділу

Введення в експлуатацію лінії по виробництву хліба з подальшим їх нарізанням і пакуванням впливатиме на техніко-економічні показники роботи підприємства в цілому. Таке впровадження збільшить випуск продукції по хлібокомбінату; завод отримає додатковий прибуток в розмірі 711,47 тис. грн/рік, збільшиться продуктивність праці.

Економічна ефективність від впровадження досягається за рахунок збільшення продуктивності виробництва нарізаного хліба, підвищення продуктивності праці. Термін окупності лінії 3 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Проведено аналіз сучасних хліборізальних машин, виявлено їхні конструктивні недоліки та обмеження експлуатації, що впливають на ефективність роботи в умовах виробництва.

2. Досліджено процес нарізання хлібобулочних виробів із різною структурою м'якуша та скоринки, визначено фактори, що впливають на рівномірність нарізки та утворення крихт.

3. Встановлено оптимальні параметри роботи ріжучого механізму – частоту коливань ножів, швидкість подавання виробів і зусилля різання, які забезпечують стабільний процес нарізання та збереження форми й структури хліба.

4. Розроблено комплекс заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, що підвищує безпечність використання установки.

5. Проведено техніко-економічну оцінку запропонованих рішень, яка підтвердила їх ефективність щодо підвищення продуктивності, зниження енергоспоживання та покращення якості продукції.

6. Запропоновані конструктивно-технологічні рішення можуть бути впроваджені в промислові потокові лінії хлібопекарського виробництва для підвищення якості нарізання, зменшення втрат і забезпечення стабільної роботи обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бендера І.М. Технологічне обладнання переробних та харчових виробництв. Лабораторний практикум для студентів інженерних спеціальностей / І. М. Бендера, О. М. Семенов, О. Я. Стрельчук, В. В. Підлісний. Кам'янець-Подільський : Абетка, 2008. 120 с.
2. Бортник А.М. Аналіз процесу подрібнення м'яса у ножовому подрібнювачі періодичної дії / А.М. Бортник, О.В. Закалов, Ю.В. Мазяк // Матеріали X науково-технічної конференції "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання". Тернопіль: ТДТУ, 2008 р.
3. Грещак М. Г., Коцюба О. С. Управління витратами: навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. Київ: КНЕУ, 2012. 131 с.
4. Гуць В.С. Адгезія харчових продуктів в процесах пакування / В.С. Гуць, О. А. Коваль // Упаковка : 2006. № 2. С. 39-41.
5. Гуць В.С. Визначення міцності адгезії / В. С. Гуць, О. А. Коваль // Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи: IX Міжнар. наук.- техн. конф.: тези доп. Київ: НУХТ. 2005. С.122.
6. Гуць В.С. Експериментально-аналітичний метод визначення адгезії харчових продуктів / В. С. Гуць, О. А. Коваль // Наукові праці НУХТ. 2006. N 18.
7. Деклараційний патент на винахід 70646 Україна, МПК А21С15/04, В26В1/547, В26В1/553. Хліборізальна машина / В.І. Теличкун, О.О. Губеня, О.О. Сандул, В.В.Череда, В.В.Теличкун; заявник Національний університет харчових технологій. №20031211877; заявл. 18.12.2003; опубл. 15.10.2004, Бюл. №10.
8. Деклараційний патент на корисну модель 11272 Україна, МПК А21С15/04. Хліборізальна машина / В.І.Теличкун, О.О. Губеня, Ю.С. Теличкун.; заявник Національний університет харчових технологій. №u200505962; заявл. 17.06.2005; опубл. 15.12.2005, Бюл, №12.

9. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва / В. І. Дробот. Київ: Логос, 2002. 365 с.
10. Калетнік Г.М., Войтюк В.Д., Бондар С.М. та ін. Управління інженерною діяльністю виробничих і сервісних підприємств АПК. Київ, 2010. 448 с.
11. Камінський В.Д. Переробка та зберігання сільськогосподарської продукції: навч. посібник для вузів / В.Д. Камінський, М.Б. Бабич. Одеса: Аспект, 2020. 460 с.
12. Малачівський П.С. Програмування в середовищі Visual Basic: Навчальний посібник / П.С. Малачівський. Львів: „Бескид Біт”, 2014. 260 с.
13. Марцин В. С., Міценко Н. Г., Даниленко О. А. та ін. Основи наукових досліджень: навч. посіб. Львів: Ромус-Поліграф, 2012. 128 с.
14. Машини та обладнання переробних виробництв: Навч. посібник / [О.В. Дацишин, А. І. Ткачук, Д. С. Чубов та ін.]; за заг. ред. О. В. Дацишина. Київ: Вища освіта, 2005. 159 с.
15. Мирончук В.Г., Орлов Л.О., Українець А.І. та інші. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник. Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
16. Методичні рекомендації для виконання та оформлення дипломної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності Н7 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, Л.С. Шелудченко, С.М. Грушецький, Комарніцький С.П. За ред. В.І. Дуганця. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. 52 с..
17. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості / І.С. Гулий, М. М. Пушанко, Л.О. Орлов, та ін., [за ред. І.С. Гулого]. Вінниця: Нова книга, 2001. 576с.
18. Основи методології та організації наукових досліджень: навч. посіб. / за ред. А. Є. Конверського. Київ: ЦУЛ, 2010. 352 с.
19. Патент на корисну модель 24301 Україна, МПК А21D 8/06, А21С 3/00. Спосіб виробництва сухарів / О.О. Губеня, В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун; заявник Національний університет харчових технологій. №u200701543; заявл. 13.02.2007; опубл. 25.06.2007, Бюл. №9, 2007 р.

20. Пивоваров П. П., Гурський В. І., Семенюк О. П. Технологія хлібопекарського виробництва. Київ: НУХТ. 2013. 420 с.
21. Плахотін В.Я. Теоретичні основи технологій харчових виробництв / В. Я. Плахотін, І. С. Тюрікова, Г. П. Хомич. Київ : Цент навчальної літератури, 2006. 640с.
22. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / За ред. проф. І. Ф. Малезика. Київ : НУХТ, 2003. 400с.
23. Рожківський М. Ф. Розробка наукових основ, створення і впровадження прогресивних технологій та комплексу машин нового покоління. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2006. Вип. 90. С. 324 – 338.
24. Сидоренко О. В. Технологія хліба, хлібобулочних і борошняних виробів. Харків: ХДУХТ. 2018. 312 с.
25. Судак А.В., Підлісний В.В. Обґрунтування конструкції хліборізальної машини // Перші наукові кроки – 2025: збірник наукових праць ХІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців (17 квітня 2025 р., м. Кам'янець-Подільський). Кам'янець-Подільський, 2025. 184 с.
26. Теличкун В.І. Дослідження процесу різання хлібобулочних виробів / В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун, О.О.Губеня // Вісник ХНТУСГ. Випуск 38. 2005. С.76-83.
27. Терешкін О. Г. Розробка машини для нарізання плодоовочевої сировини кільцями / О. Г. Терешкін, Д. В. Горелков, Д. В. Дмитровський // Збірник наукових праць ХДУХТ. Харків, 2007. Вип. 1. С.363-367.
28. Терешкін О. Г. Дослідження процесу прорізання плодів солодкого перцю, як одного з етапів його очищення / О. Г. Терешкін, В. В. Дуб, Д. В. Горелков // Збірник наукових праць ХНТУСГ ім. П. Василенка. Харків: ХНТУСГ, 2006. Вип. 45. С.215-220.
29. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв / О.Т. Лісовенко, О.А. Руденко-Грицюк, І.М. Литовченко та ін. [за ред. О.Т. Лісовенка]. Київ : Наукова думка, 2000. 283 с.

30. Федорова Т. В. Інноваційна складова підвищення конкурентоспроможності підприємств хлібопекарської галузі / Т. В. Федорова // Роль науки у підвищенні технологічного рівня і ефективності АПК України: матер. всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю., 2014, ч. 2. Тернопіль: Крок. С. 230–233.
31. Цехмістрова Г. С. Основи наукових досліджень: навч. посіб. Київ: Видав. Дім «Слово», 2003. 240 с.
32. Ялпачик В.Ф. Машины, обладнання та їх використання при переробці сільськогосподарської продукції. Лабораторний практикум. Навчальний посібник / В.Ф. Ялпачик, В.О. Олексієнко, Ф.Ю. Ялпачик, К.О. Самойчук, О.В. Гвоздєв, В.Г. Циб, Н.О. Паляничка, В.І. Шевченко, Ю.О. Борхаленко, С.Ф. Буденко. Мелітополь.: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2015. 197 с.
33. Baik O.-D., Marcotte M. Bread crumb properties and their influence on slicing performance // Journal of Food Engineering. 2013. Vol. 55(3). P. 233–241.
34. Cauvain S. P. Breadmaking: Improving Quality. 2nd ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015. 832 p.
35. Zanoni B., Peri C. Bread firmness and staling during storage: A kinetic approach // Journal of Food Science. 2017. Vol. 62(4). P. 627–632.
36. Hoseney R. C. Principles of Cereal Science and Technology. 3rd ed. St. Paul: AACC International, 2010. 300 p.
37. <https://altuntop.com.ua/>
38. <https://silence.ua/oborudovanie/hlebopekarskoe-i-konditerskoe/>
39. <https://porlanmaz.com.ua/catalog/hliborizalni-mashini/>
40. <https://et-e.com.ua/ua/article/hliborizki/>
41. <https://foodtechnology.pro/tehnologiya-virobnitstva-hliba/>
42. <https://hotmax.com.ua/>