

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133«Галузеве машинобудування»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Інжиніринг харчових виробництв

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олександр ГАВВА

“ ” 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Іскакова Вікторія Олексіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу замішування житньо-пшеничного тіста і розроблення змішувально-бродильно-формуального агрегату продуктивністю 80 кг/год сухарних виробів

керівник роботи Теличкун Юлія Станіславівна, доцент, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 01.10 2024 р. № 859-кс_

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи технічний паспорт обладнання; кресленики обладнання; навчальна нормативна та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація, зміст, Вступ, Теоретичні основи замішування житньо-пшеничного тіста, Методика досліджень та опис експериментальних установок, Дослідження процесів замішування та оброблення житньо-пшеничного тіста, Техніко- економічне та соціальне обґрунтування розробки, Розрахункова частина, Вибір конструкційних матеріалів, Монтаж, експлуатація та ремонт агрегату, Охорона праці, Охорона довкілля, Висновки, Список літератури, специфікація

5. Перелік графічного матеріалу

Загальний вигляд ЗБФА, Ножовий пристрій, Робочий орган, 3D-модель ЗБФА _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Анотація, зміст	20.10.24	Виконано
2	Вступ	21.10.24	Виконано
3	Теоретичні основи замішування житньо-пшеничного тіста	28.10.24	Виконано
4	Методика досліджень та опис експериментальних установок	02.11.24	Виконано
5	Дослідження процесів замішування та оброблення житньо-пшеничного тіста	05.11.24	Виконано
6	Техніко- економічне та соціальне обґрунтування розробки	09.11.24	Виконано
7	Розрахункова частина	15.11.24	Виконано
8	Вибір конструкційних матеріалів	20.11.24	Виконано
9	Монтаж, експлуатація та ремонт агрегату	21.11.24	Виконано
10	Охорона праці	22.11.24	Виконано
11	Охорона довкілля	23.11.24	Виконано
12	Висновки	25.11.24	Виконано
13	Список літератури	27.11.24	Виконано
14	Графічна частина	30.11.24	Виконано
15	Подача КР на кафедру	18.12.24	Виконано

Здобувач

_____ (підпис)

Вікторія ІСКАКОВА

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Юлія ТЕЛИЧКУН

_____ (прізвище та ініціали)

Анотація

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження процесу замішування житньо-пшеничного тіста та розроблення змішувально-бродильно-формуваального агрегату для виробництва сухарних виробів з продуктивністю 80 кг/год. Аналізуються основні фактори, що впливають на якість замішування тіста, а також процеси ферментації і формування тіста, що безпосередньо впливають на характеристики готового продукту. У роботі розроблено модель агрегату, що поєднує функції замішування, бродіння та формування тіста, що дозволяє забезпечити стабільну і ефективну роботу виробничої лінії. Проведені експериментальні дослідження підтверджують ефективність запропонованого агрегату, який відповідає вимогам до продуктивності та якості сухарних виробів.

Ключові слова: Змішувально-бродильно-формувальний агрегат, сухарні вироби, житньо-пшеничне тісто, тістомісильна машина, замішування тіста

Annotation

This qualification work investigates the process of kneading rye-wheat dough and the development of a mixing-fermentation-forming aggregate for the production of croutons with a capacity of 80 kg/hour. The main factors affecting dough kneading quality are analyzed, along with the processes of fermentation and dough shaping that directly impact the characteristics of the finished product. A model of the aggregate combining kneading, fermentation, and dough forming functions is developed, ensuring stable and efficient operation of the production line. Experimental studies confirm the effectiveness of the proposed aggregate, which meets the requirements for both productivity and quality of croutons.

Keywords: Mixing-fermentation-forming aggregate, croutons, rye-wheat dough, dough kneading machine, dough kneading.

Зміст

Вступ	5
1. Теоретичні основи замішування житньо-пшеничного тіста	8
1.1 Теоретичні основи	8
1.2 Аналіз існуючих методів замішування та ферментації тіста	10
1.3 Фізико-хімічні властивості житньо-пшеничного тіста	13
1.4 Теоретичні основи процесу екструзії	16
1.5 Механічні аспекти замішування: характеристики руху тіста та вплив перемішування.....	18
1.6 Огляд існуючих агрегатів для замішування: переваги та недоліки	21
2.Методика досліджень та опис експериментальних установок.....	30
2.1 Методика досліджень.....	30
2.2 Опис експериментальної установки.....	32
2.3 Реологічні характеристики	35
3.Дослідження процесів замішування та оброблення житньо-пшеничного тіста	36
3.1. Особливості енергоспоживання під час замішування житньо-пшеничного тіста.....	39
3.2. Дослідження процесу екструджування газонаповненого житньо-пшеничного тіста	42
4 Техніко-економічне та соціальне обґрунтування розробки.....	50
4.1 Опис і будова агрегату.....	55
4.2 Розрахункова частина	59
4.2.1.Розрахунок продуктивності змішувально-бродильно-формуального агрегату	59
4.2.2.Розрахунок геометричних розмірів ЗБФА	61
4.2.3.Розрахунки ЗБФА на міцність.....	62
4.2.4Розрахунок шнека	63
4.2.5.Розрахунок підшипників	66
4.2.6. Кінематичний розрахунок приводу машини, підбір двигуна-редуктора	68
4.2.7.Розрахунок циліндричної відкритої прямозубої передачі	73
4.2.8 Розрахунок витрат енергії	80
4.3 Підбір конструкційних матеріалів	84
4.4.1Монтаж ЗБФА	85
4.4.2 Експлуатація ЗБФА	86
4.4.3 Ремонт ЗБФА	88
5.Охорона праці	90
6. Охорона довкілля	92

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Теличкун Ю.С.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Іскакова В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Зміст	230622.KP.19.00.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 4/99

Висновки	95
Список використаної літератури	97
Додатки	100

Вступ

Розвиток хлібопекарської галузі має вагоме значення для забезпечення населення якісними хлібобулочними виробами. Серед таких продуктів значне місце займають сухарні виробы, що відрізняються тривалим терміном зберігання, зручністю у транспортуванні та різноманіттям смакових якостей. Особливої уваги заслуговують виробы з житньо-пшеничного тіста, які поєднують корисні властивості обох видів борошна та є важливим джерелом харчових волокон, вітамінів та мінералів.

Одним із найважливіших етапів у виробництві хлібобулочних виробів є процес замішування тіста, який значно впливає на якість кінцевого продукту. Вибір оптимального режиму замішування дозволяє забезпечити необхідну структуру тіста, покращити його фізико-хімічні властивості та сприяти утворенню стабільної клейковинної структури. У зв'язку з цим, розроблення ефективного обладнання для замішування житньо-пшеничного тіста є актуальним завданням.

Сучасні вимоги до автоматизації та підвищення продуктивності хлібопекарських підприємств обумовлюють необхідність створення універсальних і високоефективних технологічних ліній. Зокрема, особливий інтерес викликає проектування комплексних агрегатів, які поєднують функції змішування, бродіння та формування тіста. Впровадження таких агрегатів дозволяє зменшити енергетичні витрати, підвищити якість виробів та оптимізувати технологічний процес.

Метою даної роботи є дослідження процесу замішування житньо-пшеничного тіста та розроблення змішувально-бродильно-формуального агрегату продуктивністю 80 кг/год для виробництва сухарних виробів. Завданнями дослідження є аналіз впливу технологічних параметрів на якість тіста, визначення оптимальних режимів роботи обладнання, а також проектування агрегату, що відповідатиме сучасним вимогам промисловості.

Результати роботи допоможуть підвищити ефективність хлібопекарського виробництва, впровадженню новітніх технологій та забезпеченню споживачів якісними та корисними хлібобулочними виробами.

На сьогоднішній день хлібопекарська галузь як в Україні, так і в усьому світі зазнає значних змін, пов'язаних із зростаючими вимогами до якості та безпечності харчових продуктів, впровадженням сучасних технологій та підвищенням рівня автоматизації виробничих процесів. Аналіз наявних досліджень показує, що процес замішування тіста є одним з найбільш критичних етапів у виробництві хлібобулочних виробів, оскільки саме від нього залежить структура тіста, його фізико-хімічні властивості, рівень розвитку клейковини, а також кінцева якість продукції.

Критичний аналіз наукових джерел показує, що попередні дослідження зосереджувалися на розробленні окремих пристроїв для замішування тіста або бродіння, проте комплексні підходи, які дозволяють поєднувати ці процеси в єдиному технологічному агрегаті, досліджені обмежено. Це обумовлює необхідність розроблення нових технічних рішень, які забезпечуватимуть високу якість готового продукту при зниженні енергетичних витрат і збільшенні продуктивності.

Обрана тематика дослідження є актуальною для розвитку хлібопекарської галузі, оскільки дозволяє підвищити ефективність виробничих процесів, зменшити витрати на енергоносії, а також оптимізувати технологію виробництва житньо-пшеничних сухарів. Розроблення змішувально-бродильно-формуального агрегату з інтегрованими функціями та можливістю регулювання технологічних параметрів сприятиме впровадженню інноваційних підходів у виробництво хлібобулочних виробів і забезпечить підвищення якості продукції.

На світовому ринку все більшу увагу приділяють екологічним аспектам виробництва, зокрема зменшенню використання води та енергоресурсів, а також інтеграції передових технологій для покращення якості продуктів

харчування, що споживаються людьми. Враховуючи зазначене, дослідження процесу замішування тіста та розробка нового технологічного агрегату є актуальними і необхідними для подальшого розвитку харчової промисловості України та світу.

1. Теоретичні основи замішування житньо-пшеничного тіста

1.1 Теоретичні основи

Процес замішування тіста є одним із ключових етапів у виробництві хлібобулочних і сухарних виробів, оскільки від нього залежить структура, якість і кінцевий результат продукції. Замішування передбачає механічне з'єднання води та борошна, що забезпечує утворення глютенної сітки, яка є основою для формування тістових виробів і визначає їх текстуру та еластичність [1].

Механізм замішування тіста:

Основним завданням процесу замішування є забезпечення рівномірного розподілу води по борошні та утворення глютенної сітки, що надає тісту необхідну консистенцію та здатність до підйому. Борошно містить два основних компоненти, які утворюють глютен при змішуванні з водою — це гліадини та глютамін. Гліадини відповідають за в'язкість тіста, а глютамін — за його еластичність [2].

При замішуванні в процесі механічного впливу на тісто відбувається активне з'єднання гліадинів і глютамінів, що призводить до утворення еластичної сітки, здатної утримувати вуглекислий газ, що утворюється в результаті бродіння. Цей процес критично важливий для отримання правильної текстури та пористості кінцевого продукту [3].

Фактори, що впливають на процес замішування:

1. **Склад борошна:** Вміст білків у борошні є основним фактором, що впливає на утворення глютенної сітки. Для отримання якісного тіста використовується борошно з високим вмістом білка (пшеничне або сумішею пшенично-житнього). Також на властивості тіста впливає тип борошна (сильне або слабке) [4].

2. **Температура води:** Вода при замішуванні активує ферменти та допомагає створити необхідну текстуру тіста. Температура води має вплив на

швидкість утворення глютену. Занадто холодна або гаряча вода може порушити цей процес [2].

3. Час замішування: Час, витрачений на замішування, має велике значення для досягнення необхідної структури тіста. Занадто короткий час замішування може призвести до недосягнення оптимальної консистенції, а надмірне замішування — до перевитрат сировини та погіршення якості продукту [1].

4. Швидкість замішування: Швидкість, з якою відбувається замішування, також є важливою для досягнення потрібної текстури. При низьких швидкостях процес може бути повільним і менш ефективним, а при високих — може бути перевантаження агрегату або порушення структури тіста [4].

5. Наявність додаткових інгредієнтів: До складу тіста можуть входити різні добавки, як-от дріжджі, цукор, сіль, молоко та інші компоненти, які впливають на процес бродіння та загальну консистенцію тіста. Додавання дріжджів стимулює бродіння, що веде до підвищення еластичності і пухнастості тіста [3].

Види замішування тіста:

У сучасних умовах виробництва важливим є не тільки вибір методу замішування, але й ефективність використання технологічного обладнання. Для підвищення продуктивності та якості продукції розробляються нові змішувально-бродильно-формувальні агрегати, що дозволяють автоматизувати процеси та зменшити трудозатрати [4].

1.2 Аналіз існуючих методів замішування та ферментації тіста

Процеси замішування та ферментації є ключовими етапами у виробництві хлібобулочних і сухарних виробів, які впливають на структуру, текстуру, смакові характеристики та пористість кінцевого продукту. Сучасні методи замішування і ферментації спрямовані на підвищення ефективності виробництва та покращення якості готової продукції [1],[2].

Методи замішування тіста

Існує кілька основних методів замішування тіста, кожен з яких має свої переваги та недоліки в залежності від вимог до кінцевої продукції.

1. Мокрий метод:

При використанні цього методу вода додається поступово до сухих інгредієнтів, що дозволяє краще контролювати консистенцію тіста. Мокрий метод забезпечує більш м'яку і еластичну текстуру тіста завдяки глибокому з'єднанню інгредієнтів і розвитку глютену. Цей метод використовується для виробництва м'яких виробів із великою кількістю води (наприклад, для виробів із високим вмістом вологи). Він є досить енергоємним і вимагає тривалішого часу на замішування [3].

2. Сухий метод:

У цьому випадку інгредієнти спочатку змішуються без води, а потім додається вода. Цей метод використовується для виробництва щільних, сухих виробів. Його перевагою є більш висока швидкість замішування та менш енергозатратний процес. Однак цей метод може призвести до менш еластичного тіста, що обмежує його застосування для певних видів продукції [5].

3. Авіаційний метод (швидкий метод):

Цей метод, при якому замішування і бродіння поєднуються, а вода додається безпосередньо в процесі замішування на високих швидкостях. Такий підхід дозволяє значно зменшити час, необхідний для підготовки тіста,

що є важливим для виробничих процесів, де потрібно підвищити швидкість виготовлення великої кількості продукції [6].

4. Метод приготування на основі системи безперервного замішування:

У цьому методі використовується спеціальне обладнання, яке дозволяє безперервно вводити інгредієнти в процес замішування. Така система дозволяє значно скоротити час замішування та підвищити ефективність виробництва, але її вартість та потреба в висококваліфікованому обслуговуванні можуть бути недоліками [7].

Методи ферментації тіста

Процес ферментації є важливим етапом, який відповідає за бродіння тіста і надає йому необхідну пористість і легкість. Існують різні методи ферментації, які застосовуються в залежності від вимог до продукту.

1. Ферментація при низьких температурах (холодна ферментація):

Цей метод передбачає зниження температури під час бродіння, що дозволяє уповільнити активність дріжджів. Холодна ферментація дає можливість покращити аромат і текстуру тіста, оскільки процес бродіння триває довше, що дозволяє дріжджам ефективніше перетравлювати цукри та утворювати бажані смакові компоненти. Водночас, цей метод потребує значно більше часу та спеціалізованого обладнання для контролю температури [8].

2. Тепла ферментація:

У цьому методі процес бродіння проходить при підвищених температурах, що дозволяє прискорити процес бродіння. Зазвичай такий метод використовують для виробництва великих обсягів хлібобулочних виробів, де необхідно зменшити час ферментації та підвищити ефективність виробництва. Однак, це може негативно впливати на смакові якості продукції, оскільки при високих температурах деякі ароматичні компоненти можуть не утворюватися [9].

3. Багатоступенева ферментація:

Це метод, при якому бродіння проходить кілька етапів з різними температурними режимами. Перший етап ферментації зазвичай є коротким при високих температурах, а потім температура знижуються для досягнення необхідних характеристик продукту. Такий метод дозволяє поєднати швидкість ферментації з якістю кінцевої продукції [10].

4. Безперервне бродіння:

Це сучасний метод, який дозволяє постійно підтримувати активність дріжджів шляхом безперервного додавання нових порцій тіста і ферментів. Цей метод використовується для великомасштабного виробництва, де важлива стабільність процесу і високі обсяги продукції [11].

Вибір методу

Вибір методу замішування та ферментації залежить від кількох факторів: бажаної текстури і смакових якостей продукції, термінів виробництва та економічної ефективності. Важливою тенденцією в сучасному виробництві є інтеграція автоматизованих технологій, які дозволяють оптимізувати як процес замішування, так і ферментацію, підвищуючи швидкість і стабільність виробництва, а також знижуючи енергетичні та трудові витрати [12].

1.3 Фізико-хімічні властивості житньо-пшеничного тіста

Житньо-пшеничне тісто є складною сумішшю борошна, води, заквасок або дріжджів та інших інгредієнтів, таких як сіль, цукор і жир. Поєднання житнього та пшеничного борошна у складі тіста надає йому специфічні фізико-хімічні властивості, які впливають на процеси бродіння, текстуру, об'єм і смакові характеристики кінцевого продукту. Вивчення цих властивостей є важливим для оптимізації технологічних процесів у виробництві хлібобулочних виробів [14].

1. Вологість тіста

Вологість тіста є одним із найбільш важливих параметрів, оскільки вона безпосередньо впливає на консистенцію і еластичність тіста. У житньо-пшеничному тісті вміст води коливається від 45% до 75%, залежно від типу виробу і бажаної текстури. Вища вологість забезпечує більшу еластичність і пластичність тіста, що важливо для створення хлібопекарних виробів з відкритою структурою (наприклад, для хліба з великою кількістю пор).

Для житнього борошна характерне вищий вміст води в тісті через більшу кількість розчинних речовин, таких як пентозани та клітковина, які здатні утримувати вологу. Це надає житньо-пшеничному тісту більше води, що в свою чергу впливає на бродильний процес і ферментацію [15].

2. Кислотність (pH) тіста

Кислотність житньо-пшеничного тіста варіюється в залежності від співвідношення житнього та пшеничного борошна, а також від типу закваски або дріжджів, що використовуються. Зазвичай pH житнього тіста знаходиться в межах від 5.0 до 5.5. Житнє борошно містить більшу кількість кислот, що робить його більш кислим порівняно з пшеничним.

Кислотність тіста також залежить від процесу ферментації: при використанні заквасок pH може знижуватись через вироблення молочної

кислоти, що впливає на смакові властивості виробу та на структуру тіста. Цей процес має суттєве значення для текстури та аромату готового хліба [16].

3. Еластичність та в'язкість тіста

Еластичність житньо-пшеничного тіста зумовлена наявністю білків глютену, що утворюються під час змішування. Глютен складається з двох основних компонентів — гліадину та глютеніну, які при контакті з водою утворюють еластичну сітку, що утримує вуглекислий газ, що виділяється під час бродіння.

Пшеничне борошно має високий вміст білків глютену, що забезпечує високу еластичність, тоді як житнє борошно містить менше глютену, що робить його тісто більш щільним і менш еластичним. Це пояснює, чому житньо-пшеничні суміші зазвичай мають кращі характеристики, оскільки пшеничне борошно покращує еластичність тіста, а житнє — надає йому більш щільну текстуру [17].

4. Бродильні властивості тіста

Однією з важливих фізико-хімічних властивостей житньо-пшеничного тіста є його здатність до бродіння. Завдяки наявності органічних речовин, таких як цукри та білки, тісто активно ферментується під дією дріжджів або заквасок. Вміст пшеничного борошна сприяє більш інтенсивному газоутворенню під час бродіння, що забезпечує підвищений об'єм тіста.

Житнє борошно, завдяки своєму більш низькому вмісту глютену, не дає настільки великого підйому, але надає тісту більш щільну структуру. Водночас житнє тісто може мати інші переваги, такі як кращі смакові характеристики та здатність зберігати вологу [18].

5. Температурні характеристики тіста

Температура тіста впливає на швидкість бродіння та розвиток ферментів [19]. Оптимальна температура для бродіння житньо-пшеничного тіста становить 24-30°C. При вищих температурах процес бродіння

прискорюється, але це може призвести до зниження якості кінцевого продукту через надмірне утворення газу і дефекти структури.

6. Механічні властивості

Житньо-пшеничне тісто володіє високою здатністю до розтягування, особливо коли в ньому міститься достатня кількість пшеничного борошна. Це дозволяє тісту утворювати бажану структуру під час формування виробів. Пшеничне борошно надає тісту кращу пластичність, що дозволяє легко маніпулювати з ним під час процесу формування.

Фізико-хімічні властивості житньо-пшеничного тіста є основою для розвитку технологічних процесів у виробництві хлібобулочних виробів. Вони визначають такі характеристики, як еластичність, кислотність, здатність до бродіння і текстуру готового продукту. Врахування цих властивостей є необхідним для оптимізації процесу замішування та забезпечення стабільності якості продукції. Кожен компонент тіста (житнє та пшеничне борошно, вода, дріжджі чи закваски) вносить свій внесок у кінцевий результат, що визначає смакові та текстурні характеристики хлібобулочних виробів.

1.4 Теоретичні основи процесу екструзії

Процес екструзії є одним із ключових у сучасному виробництві харчових продуктів, включаючи вироби з тіста, такі як сухарі. Екструзія — це технологічний процес, що включає в себе одночасне замішування, нагрівання, стискання і формування сировини шляхом її проходження через екструдер [20]. Цей процес дозволяє отримувати продукти заданої форми, структури та функціональних властивостей.

Основні етапи екструзійного процесу

Підготовка сировини:

Для екструзії житньо-пшеничного тіста необхідно забезпечити оптимальне співвідношення інгредієнтів, таких як житнє та пшеничне борошно, вода, сіль, дріжджі та інші добавки. Консистенція тіста має бути достатньо пластичною для забезпечення рівномірного проходження через екструдер [21].

Замішування:

У змішувальній камері тіста відбувається рівномірне розподілення компонентів, формування клейковинного каркасу (в разі пшеничного борошна) та забезпечення необхідної текстури [22].

Нагрівання та стискання:

У процесі екструзії тіста відбувається його стискання під високим тиском і температурами. Це дозволяє покращити структуру тіста, здійснює пастеризацію сировини та сприяє розвитку ароматичних і смакових властивостей [23].

Формування:

Стиснена маса тіста проходить через формувальну головку екструдера, яка задає необхідну форму виробам. Для сухарних виробів важливо забезпечити однорідну товщину та структуру, що дозволяє досягнути рівномірного випікання [24].

Охолодження та стабілізація:

Після виходу з екструдера вироби охолоджуються, стабілізуючи свою форму і структуру. Цей етап важливий для підготовки тіста до подальшого випікання та сушіння [25].

Фізико-хімічні процеси під час екструзії

У процесі екструзії житньо-пшеничного тіста відбуваються складні фізико-хімічні зміни:

Денатурація білків: Висока температура та тиск сприяють зміні структури білків, що покращує органолептичні властивості [26].

Желатинізація крохмалю: В умовах екструзії крохмаль набрякає та частково розпадається, утворюючи в'язку гелеподібну масу [27].

Формування структурних зв'язків: Взаємодія білків, крохмалю та інших компонентів забезпечує міцність та стабільність структури виробу [28].

Технологічні переваги екструзії

Висока продуктивність: Процес дозволяє виробляти до 80 кг/год готових сухарних виробів у компактному виробничому середовищі [29].

Енергоефективність: Поєднання кількох етапів обробки (замішування, нагрівання, формування) в одному апараті скорочує енерговитрати [30].

Універсальність: Екструдери дозволяють працювати з різними рецептурами, змінюючи параметри процесу [31].

Технологія екструзії є ключовою для виробництва високоякісних сухарних виробів із житньо-пшеничного тіста. Її ефективність забезпечується завдяки поєднанню багатофункціональних етапів обробки сировини, оптимізації процесів замішування, бродіння та формування в єдиному агрегаті [32].

1.5 Механічні аспекти замішування: характеристики руху тіста та вплив перемішування

Процес замішування тіста є важливим етапом в технології виготовлення хлібобулочних виробів, оскільки він впливає на структуру тіста, його еластичність, здатність до бродіння та, в кінцевому рахунку, на якість готового продукту. Механічні аспекти замішування включають характеристики руху тіста, енергію, що витрачається на цей процес, а також вплив різних типів перемішування на його властивості [33].

1. Характеристики руху тіста

Під час замішування тіста відбувається складний механічний процес, у якому тісто перемішується, стискається, розтягується та крутиться. Це викликає утворення глютенної сітки, яка є основою для формування еластичної структури тіста. Рух тіста під час замішування можна описати кількома важливими характеристиками:

- Ротаційний рух: Більшість змішувачів для тіста забезпечують ротаційний рух інгредієнтів, що дозволяє рівномірно змішувати борошно з водою та іншими компонентами. Це рух має на меті забезпечити рівномірний розподіл вологості і сприяти утворенню глютену [34].

- Поступальний рух: Під час перемішування в агрегатах з планетарним або спіральним механізмом змішування, тісто переміщується поступально, що забезпечує кращу взаємодію молекул борошна з водою. Поступальний рух підвищує ефективність процесу замішування, оскільки кожен елемент тіста проходить через усі зони змішувача, що дозволяє досягти оптимальної гомогенності [35].

- Стиснення та розтягування: Механічні властивості тіста змінюються під час замішування, оскільки тісто зазнає стиснення (у результаті руху між лезами чи стінками змішувача) та розтягування (коли воно перетягується між рухомими елементами). Це сприяє розвитку глютенної мережі, що є важливим фактором для утворення еластичної структури тіста [36].

2. Енергія замішування та її вплив на тісто

Процес замішування потребує значних енергетичних затрат, оскільки він передбачає як перемішування, так і механічну обробку тіста. Чим більше енергії витрачається під час замішування, тим більше глютену утворюється в тісті. Однак надмірне перемішування може призвести до порушення структури тіста, що знижує його здатність до бродіння і впливає на кінцевий продукт [37].

Основні аспекти енергії замішування:

- Вплив на в'язкість та еластичність: Від кількості енергії, що витрачається на замішування, залежить, наскільки еластичним та пластичним буде тісто. Низька енергія спричиняє утворення менш стабільної глютенної мережі, а надмірне замішування може призвести до того, що тісто стане надто еластичним і втратить свою здатність утримувати гази [38].

- Температура тіста: Під час замішування виникає теплотворення через механічну роботу, що виконується. Зростання температури тіста під час замішування може сприяти прискоренню ферментації, але також може знижувати якість тіста, оскільки деякі ферменти та білки можуть денатурувати при надмірному нагріванні [39].

4. Вплив перемішування на якість кінцевого продукту

Механічне замішування впливає на ряд фізико-хімічних властивостей тіста, таких як:

- Підвищення еластичності та текстури: Під час замішування утворюється глютенна мережа, яка є основою для еластичності тіста. Це особливо важливо для виробів з хорошою структурою та великим об'ємом (наприклад, хліб) [43].

- Гомогенність тіста: Тісто має бути рівномірно змішане для досягнення однорідної текстури та рівномірного розподілу бродильних агентів. Це дозволяє досягти високої якості та стабільності кінцевого продукту [44].

- Рівень газоутворення: Механічне замішування сприяє більш рівномірному розподілу дріжджів або заквасок у тісті, що забезпечує ефективніше бродіння та краще підняття тесту [45].

Механічні аспекти замішування тіста є критичними для досягнення високої якості кінцевого продукту. Характеристики руху тіста, енергетичні витрати та типи перемішування безпосередньо впливають на текстуру, еластичність та газоутворення. Правильний підбір типу змішувача і контролювання параметрів замішування дозволяє досягти оптимальних властивостей тіста і забезпечити стабільний результат у виробництві хлібобулочних виробів [46].

1.6 Огляд існуючих агрегатів для змішування: переваги та недоліки

Агрегати для змішування тіста є важливим елементом хлібопекарного виробництва. Вони виконують одну з ключових функцій — забезпечення рівномірного змішування інгредієнтів, що необхідно для отримання тіста з бажаними властивостями. Розвиток технологій та вдосконалення конструкцій змішувачів дозволяють значно покращити ефективність виробництва та знизити витрати енергії та часу. Однак кожен тип агрегатів має свої переваги та недоліки, що визначають вибір конкретного агрегату для змішування в залежності від типу тіста та вимог до кінцевого продукту.

1. Спіральні змішувачі

Переваги:

- Висока ефективність змішування: Спіральні змішувачі здатні забезпечити більш рівномірне розподілення інгредієнтів і формування правильної структури глютенної сітки, що важливо для хлібобулочних виробів, таких як батони, хліб [64].

- Швидкість роботи: Вони зазвичай працюють швидше за інші види змішувачів і дозволяють змішувати великі об'єми тіста за менший час [64].

- Зниження механічного навантаження: Спіральна форма робочих органів дозволяє досягти оптимального механічного навантаження на тісто без перевантаження агрегату, що продовжує його термін служби [64].

Недоліки:

- Високий рівень шуму: Оскільки змішувач працює при високих обертах, рівень шуму може бути досить високим, що може вимагати встановлення додаткових заходів для захисту персоналу [64].

- Високі вимоги до обслуговування: Спіральні змішувачі потребують регулярного обслуговування та перевірки через високі навантаження на механічні частини [64].

Дослідження [64] показує, що спіральні змішувачі є найбільш ефективними для замішування хлібного тіста, забезпечуючи необхідну текстуру та консистенцію.

2. Планетарні змішувачі

Переваги:

- Універсальність: Планетарні змішувачі підходять для замішування не лише хлібного тіста, але й для інших видів тіста, таких як тісто для кондитерських виробів [65].

- Контроль за консистенцією: Завдяки планетарному руху робочих органів, вони забезпечують рівномірне замішування навіть дуже густих мас [65].

- Можливість додавання інгредієнтів під час роботи: Вони дозволяють додавати рідкі або тверді інгредієнти в процесі замішування, що підвищує гнучкість процесу [65].

Недоліки:

- Низька продуктивність: У порівнянні зі спіральними змішувачами, планетарні змішувачі мають меншу продуктивність, що робить їх менш ефективними для великих об'ємів виробництва [65].

- Висока вартість: Оскільки планетарні змішувачі можуть бути складнішими за конструкцією, їх вартість може бути вищою, ніж у спіральних або інших простіших агрегатів [65].

Висновки з роботи [65] свідчать, що планетарні змішувачі можуть бути ефективними для виробництва невеликих партій різноманітних видів тіста, зокрема для кондитерських виробів.

3. Вальцеві змішувачі

Переваги:

- Швидке замішування: Вальцеві змішувачі працюють за принципом механічного впливу через ролики, що дозволяє швидко та рівномірно замішувати тісто [66].

- Ідеальні для тіст, що потребують тривалого замішування: Вальцеві змішувачі ефективні для замішування тіста, яке має довгу ферментацію, таких як листові або багат шарові тістечка [66].

Недоліки:

- Обмеження у типах тіста: Вальцеві змішувачі підходять не для всіх видів тіста, оскільки вони менш ефективні для густих і важких сумішей [66].

- Висока енергетична витрата: Вальцеві змішувачі можуть мати високе споживання енергії через високі механічні навантаження на валки [66].

Згідно з дослідженням [66], вальцеві змішувачі є ефективними для виробництва специфічних типів тіста, що вимагають тривалого і ретельного замішування.

4. Циклонні змішувачі

Переваги:

- Інтенсивне перемішування: Циклонні змішувачі використовують потік повітря для створення потоку тістових компонентів, що дозволяє досягти інтенсивного перемішування при відносно низьких витратах енергії [67].

- Швидкість замішування: Завдяки своїй конструкції, циклонні змішувачі можуть швидко замішувати великі об'єми тіста, що особливо важливо на великих підприємствах [67].

Недоліки:

- Обмеження за типами інгредієнтів: Циклонні змішувачі не підходять для дуже в'язких або густих сумішей, що обмежує їх застосування в хлібопекарній промисловості [67].

- Ризик нерівномірного замішування: Якщо тісто містить великі об'єми води або жирів, можливе нерівномірне замішування компонентів [67].

Згідно з дослідженням [67], циклонні змішувачі ефективні для певних видів тіста, таких як ті, що містять значну кількість рідких компонентів.

Існуючі агрегати для замішування тіста мають свої переваги та обмеження, що визначають їх застосування залежно від вимог до типу тіста,

обсягів виробництва та економічних умов. Спиральні змішувачі відзначаються високою ефективністю, але потребують значного обслуговування та є шумними. Планетарні змішувачі є універсальними, але мають низьку продуктивність. Вальцеві змішувачі підходять для спеціальних видів тіста, але мають високе споживання енергії. Циклонні змішувачі є швидкими і ефективними для рідких тіставих сумішей, але обмежені в використанні для густих тіста.

Для замісу житньо-пшеничного тіста використовують різні типи тістомісильних машин, залежно від рецептури, виду борошна та особливостей виробничого процесу, а також інтенсивності механічного впливу на тісто. Після замісу якість тіста зазвичай визначають за гістологічними та якісними показниками готового продукту [47].

Вимоги до тістомісильних машин - це оптимальна конфігурація місильного органу і відповідна швидкість обертання для інтенсивного замісу тістової маси за короткий час. Швидкість обертання робочого органу повинна бути відрегульована відповідно до типу тіста, що обробляється [48].

Використання машин безперервної дії в хлібопекарській промисловості є відносно недавньою розробкою. Вперше такі машини були впроваджені в 1947 році в рамках організації потокового виробництва [49]. Основними елементами тістомісильної машини безперервної дії є робоча камера і місильний орган з різними типами місильних елементів. В одній конструкції тістомісильної машини використовуються різні типи місильних органів. Як правило, місильна камера має циліндричну або коритоподібну форму [50].

Конструкції сучасних тістомісильних машин безперервної дії зарубіжного та вітчизняного виробництва, що використовуються в галузі Тістомісильна машина типу Х-12 давно використовується в хлібопекарській промисловості України і відноситься до однокамерних тихохідних машин. Застосовується для замісу як пшеничного, так і житнього тіста і має

продуктивність до 20 тонн на добу. Машина використовується багатьма компаніями завдяки своїй простій конструкції та обслуговуванню [51].

Основними вузлами машини є: напівциліндрична робоча камера 5, посередині якої розміщений місильний вал 4, над яким по спіралі закріплені лопаті 3; зверху місильна камера накрита відкидною кришкою з запірним механізмом; над лопатями по спіралі закріплений місильний вал; над робочою камерою по спіралі закріплені лопаті 3 [52].

Борошно подається в машину через прямокутну насадку 1 за допомогою вагового пристрою безперервної дії, що обертається. На патрубку 1 встановлені два ємнісних датчика рівня для забезпечення постійного стовпа борошна над ваговим пристроєм. Привід дозатора здійснюється від головної осі тістомісильної машини кривошипно-шатунним механізмом і клиновим фрикційним храповим механізмом. Для запобігання утворенню склепінь перед ваговим пристроєм встановлена білково-колісна мішалка [53].

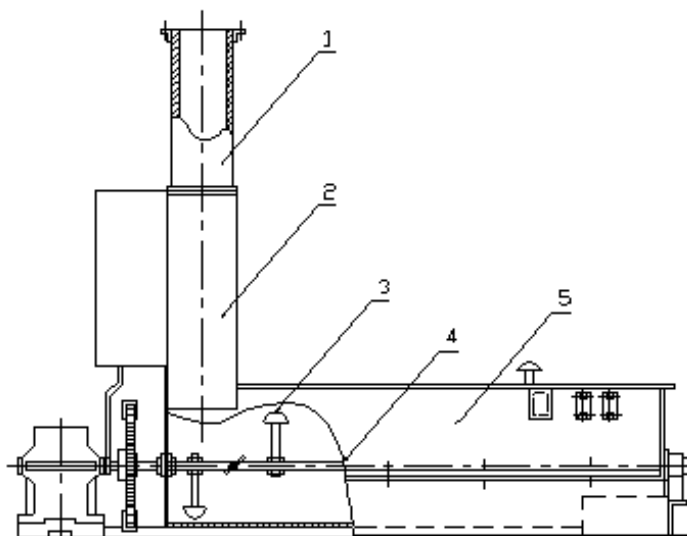


Рис. Тихохідна тістомісильна машина безперервної дії X-12:

1 - патрубок для борошна; 2 - роторний дозатор борошна; 3 - місильні лопатки; 4 - місильний вал; 5 – робоча місильна камера [54].

Машина приводиться в дію електродвигуном і циліндричним редуктором. На передній панелі управління розташовані крани для дозування рідких компонентів.

Всі інгредієнти безперервно подаються з дозатора в передню частину робочої камери 5, яка має поріг, що перешкоджає руху рідких інгредієнтів по жолобу, де вони перемішуються лопатями 3 (закріпленими в гвинтовій формі під кутом до осі вала) і транспортуються по жолобу. Тістова маса грудками подається до вивантажувальних патрубків, де відбувається її перемішування і пластифікація [55].

Після роботи тістомісильна машина очищається без демонтажу, що зовсім не зручно. Машина не передбачає інтенсивного замісу тіста, конструкція робочого органу не може цього забезпечити, а через ненадійну роботу системи дозування допускаються значні коливання складу тіста. У машині відсутній пристрій для регулювання частоти обертання робочого валу і часу замісу тіста [56].

Максимальна частота обертання місильного валу обмежена 48 об/хв і відповідно інтенсивністю механічного впливу, тобто силою, що виникає в результаті тертя тістової маси об стінки місильної камери. Тому інтенсивність замісу не може бути збільшена за рахунок збільшення частоти обертання місильного валу. Крім того, збільшення швидкості обертання місильного валу може призвести до розкидання тістових заготовок. Для підвищення інтенсивності замісу можна використовувати місильні лотки, довші вали та більшу кількість лопатей [57].

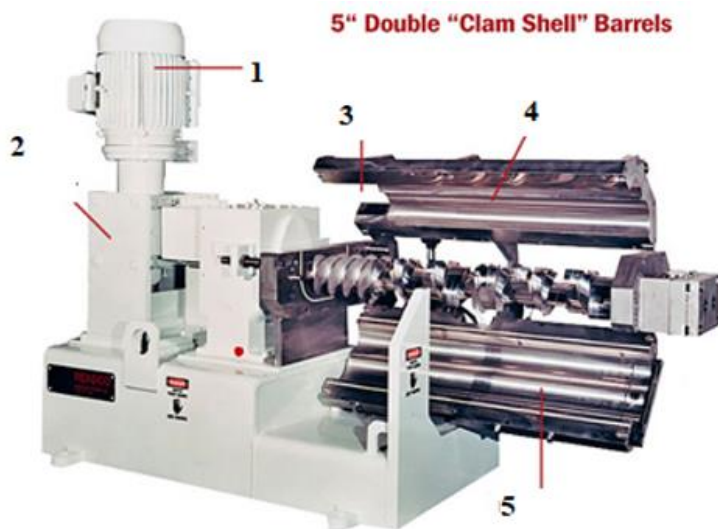


Рис. Змішувальний комплекс Double “Clam Shell” Barrels.

1 – двигун 20 HP; 2 – редуктор Right Angle Reducer; 3 – вхідний отвір; 4 – верхній корпус; 5 – Нижня панель [61]

Змішувальні комплекси безперервної дії Readco тістомісильні комплекси безперервної дії можуть бути використані для широкого спектру процесів, таких як змішування, заміс і кристалізація [62].

Тістомісильні комплекси VMI

Сучасні тістомісильні комплекси безперервної дії включають в себе, крім тістомісильної машини, пристрої завантаження сипучих і рідких матеріалів, пристрої регулювання температури, замісу, місильні регулятори технологічних параметрів і робочі органи тістомісильної машини забезпечують інтенсивний процес замісу пшеничного тіста. Тістомісильна система адаптована до виробничого циклу і пропонує продуктивність в кілька тонн тіста на годину, поєднуючи і реалізуючи одну з найефективніших технологій для всього процесу виробництва хліба.

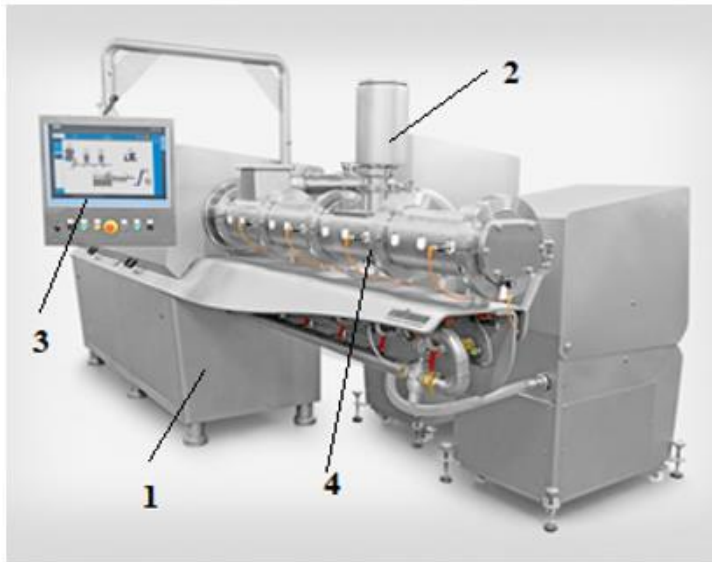


Рис. Тістозмішувальний комплекс безперервної дії.

1 - станина; 2 – дозувальний комплекс ; 3 – Пульт автоматизованого управління ; 4 - робоча камера з вимірювальною апаратурою.

Тістомісильний комплекс Leading Bakery Systems

Компанія Leading Bakery Systems є світовим лідером у галузі технології безперервного змішування. Ці суворі системи безперервного змішування використовуються у виробництві печива, крекерів, піци, кормів для тварин і хлібобулочних виробів. Комбіноване обладнання включає в себе дозатор і дві місильні камери, одна з яких має два місильні вали зі шнеками і кулачковими робочими елементами в з'єднаних циліндричних камерах. Камери можуть бути легко демонтовані для забезпечення доступу до робочих елементів. Камери легко закриваються і герметизуються. Тістова маса подається в другу місильну камеру через з'єднувальну трубу. Ця камера має один місильний вал і робочий елемент у вигляді пальця і штиря, закріпленого на корпусі камери. Циліндрична камера легко відкривається для очищення і є герметичною. Тістова маса опускається на дно другої камери і за допомогою конвеєра передається на наступний процес.

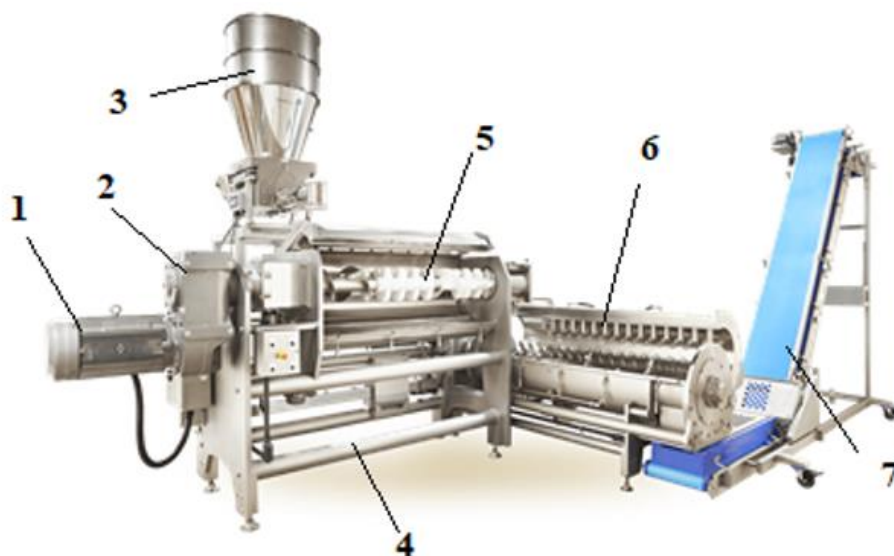


Рис. Безперервний тістозмішувальний комплекс обладнання.

1 – двигун з частотним перетворювачем; 2 - редуктор; 3 – дозувальна апаратура; 4- корпус; 5 – двовальна камера змішування; 6 – камераостаточного змішування змішування; 7 – конвейєр для відведення тіста з змішувальної камери [63].

2.Методика досліджень та опис експериментальних установок

2.1 Методика досліджень

Об'єкт дослідження – процес замішування житньо-пшеничного тіста, включаючи етапи бродіння та формування для виробництва сухарних виробів [68].

Предмет дослідження – вплив технологічних параметрів замішування, бродіння та формування на якість житньо-пшеничного тіста і розробка змішувально-бродильно-формуального агрегату з продуктивністю 80 кг/год для виробництва сухарів [69].

Мета роботи – підвищення ефективності виробництва сухарних виробів шляхом дослідження процесу замішування житньо-пшеничного тіста та розроблення змішувально-бродильно-формуального агрегату з інтегрованими функціями для забезпечення високої якості продукції [70].

Завдання дослідження:

1. Дослідити вплив технологічних параметрів замішування на структуру та фізико-хімічні властивості житньо-пшеничного тіста [71].
2. Обґрунтувати оптимальні режими бродіння тіста для забезпечення стабільної структури клейковини [72].
3. З'ясувати взаємозв'язок між процесом формування тіста та якістю кінцевих сухарних виробів [73].
4. Вивчити існуючі типи обладнання для замішування, бродіння і формування тіста, визначити їхні переваги та недоліки [74].
5. Розробити конструкцію змішувально-бродильно-формуального агрегату з продуктивністю 80 кг/год, який поєднує процеси замішування, бродіння та формування тіста [75].
6. Провести експериментальну перевірку ефективності розробленого агрегату та оцінити якість отриманих виробів [76].

Наукова новизна полягає в розробці інтегрованого змішувально-бродильно-формуального агрегату для житньо-пшеничного тіста, що поєднує кілька етапів технологічного процесу в одному пристрої, забезпечуючи можливість регулювання параметрів для оптимізації структури тіста та якості готової продукції [77].

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості використання розробленого агрегату на хлібопекарських підприємствах для оптимізації виробництва сухарних виробів. Результати досліджень можуть бути впроваджені у навчальний процес вищих навчальних закладів для підготовки фахівців у галузі харчових технологій [78].

Дослідження охоплювало процес замішування та екструзії житньо-пшеничного тіста, а також обладнання, що використовується для замішування та обробки. Під час дослідження тісто готували за наступним рецептом:

1. Борошно пшеничне вищого гатунку - 350 г
2. Борошно житнє - 175 г
3. Дріжджі пресовані – 2,5 г
4. Сіль - 8 г
5. Вода - 170 мл
6. Закваска - 520 г

Всі інгредієнти зважують і дріжджі розводять у воді при температурі 30°C. Решту води ставлять у тістомісильну машину при температурі 45°C. Потім додають сіль, цукор, олію та дріжджову суспензію. Тісто замішували на третій швидкості протягом 6 хв.

2.2 Опис експериментальної установки

Експериментальна установка для замішування тіста включає станину 1 з приводом і регулятором швидкості 2 та місильну заготовку 5 [83].

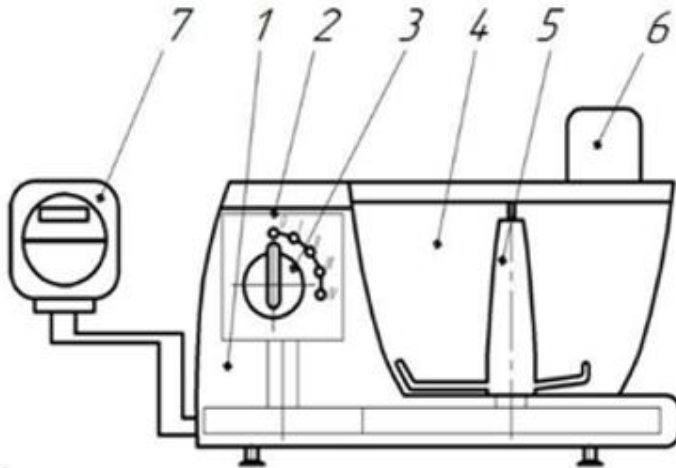


Рис. Схема лабораторної тістомісильної машини: 1 - станина; 2 – привід машини з регулятором кількості обертів місильного валу; 3 - перемикач швидкості обертання; 4 – камера замішування; 5 – місильний робочий орган; 6 – фіксувальна кришка; [84]

Місильна камера 4 встановлена на рамі і закріплена кронштейном, місильний орган 5 встановлений в камері на приводному валу і закріплений запірною кришкою 6. Перемикач 3 призначений для того, щоб можна було легко і швидко змінювати швидкість обертання приводного валу.

Комплект обладнання для дослідження процесу екструзії дріжджового тіста включає циліндричний корпус 1, в який завантажуються тісто і проштовхується поршнем 8. Корпус обладнаний водяною сорочкою [85]. У нижній частині корпусу розташована матриця 3, через яку виштовхується газоване тісто. Заслінка 4 призначена для перекриття паза в матриці і рухається в напрямній 5. Камера закривається кришкою 9. Кришка 9 має патрубок, до якого приєднаний манометр 6 для контролю величини тиску. Труба подачі стисненого повітря оснащена вентилем 7. Повітря подається від

компресора 12. Для підтримання постійної температури водяної сорочки (30°C) використовується ультратермостат 11.

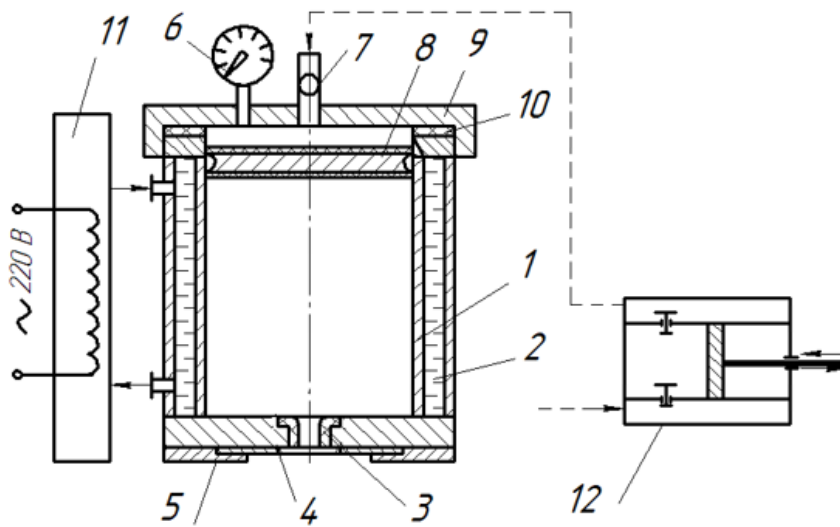


Рис. Комплекс обладнання для дослідження процесу екструзування газонаповненого дріжджового житньо-пшеничного тіста: 1 – тістова камера; 2 - сорочка водяна з температурою 30° С ; 3 - матриця з каналом круглого перерізу; 4 - заслінка; 5 –напрямні; 6 - манометр для контролю величини тиску в камері; 7- патрубок подавання стисненого повітря з клапаном; 8 - поршень; 9 – гвинтова кришка робочої камери; 10 – ущільнення кришки; 11 – ультратермостат для підтримання температури води в сорочці; 12 - компресор.

Порядок проведення експериментального дослідження процесу екструзії: Згідно з рецептурою тісто для дослідження замішують у тістомісильній машині на третій швидкості протягом 6 хвилин. Вимірюють температуру тіста та зважують його. Бродіння при температурі 30 °С на термостаті та у зволоженому середовищі протягом 30 хв. Після бродіння тісто поміщають у тістову камеру. Тістова камера спочатку попередньо нагрівається шляхом підключення сорочки до ультратермостату, закриття кришки і подачі стисненого повітря шлангом до 0,2 МПа. Тісто вистоюється в камері протягом 20 хвилин при заданому тиску і температурі. Екструзія здійснюється при тих же значеннях тиску. Під час екструзії фіксується час гемостатичного пресування, розміри (діаметр, довжина) і вага. У цьому

дослідженні використовувалися матриці з різними діаметрами каналів і часом вистоювання тіста, щоб забезпечити різний вміст газу.

2.3 Реологічні характеристики

Реологічні характеристики описують поведінку тіста як неоднорідного середовища під впливом механічних впливів.

Визначення реологічних характеристик тіста – це дослідження його механічних властивостей з метою оптимізації технологічних процесів у хлібопекарській промисловості. Ці характеристики допомагають оцінити, як тісто реагує на замішування, формування, вистоювання та випікання.

Дослідження проводили з газовмісним житньо-пшеничним тістом, яке підтримується під постійним тиском за допомогою компресора. Спочатку тісто ферментується протягом 30 хвилин у термостаті, а потім поміщається в герметичний контейнер, щоб накопичити вуглекислий газ. Діаметр джгута вимірюється штангенциркулем, а вага - електронними вагами. Всі інші параметри розраховуються за формулою. Визначити об'ємну і масову продуктивність тістового джгута довжиною 150 мм, екструдованого при постійному діаметрі і часі екструзії. Тістовий джгут був екструдований через капіляр з круглим поперечним перерізом, в результаті чого вийшов виріб правильної геометричної форми з круглим поперечним перерізом.

3. Дослідження процесів замішування та оброблення житньо-пшеничного тіста

Процеси замішування та оброблення житньо-пшеничного тіста є ключовими етапами у виробництві хлібобулочних виробів. Вони визначають реологічні властивості тіста, його структуру, пористість, органолептичні характеристики та якість готової продукції. Житньо-пшеничне тісто має особливі властивості через різницю у складі білків і крохмалю житнього та пшеничного борошна, що ускладнює його оброблення. Оптимізація процесів замішування і оброблення житньо-пшеничного тіста дозволяє підвищити якість продукції, скоротити час виробництва та зменшити енерговитрати.

Особливості житньо-пшеничного тіста

1. Реологічні властивості:

- Житнє борошно містить менше глютену, ніж пшеничне, що утруднює утворення міцної білкової сітки.

- Основну роль у структуроутворенні відіграють пентозани житнього борошна, які поглинають значну кількість води.

2. Пористість тіста:

- У житньо-пшеничному тісті пористість формується за рахунок газоутворення внаслідок ферментації та механічного оброблення.

3. Роль ферментації:

- Ферментативна активність у житньому борошні вища, ніж у пшеничному, що впливає на кислотність тіста та його смакові характеристики.

4. Механічний опір:

- Через низький вміст глютену житньо-пшеничне тісто має підвищений опір деформації, що впливає на процес замішування.

Етапи дослідження

5.1. Замішування тіста

1. Вивчення впливу складу:

- Співвідношення житнього та пшеничного борошна (наприклад, 30:70, 50:50, 70:30).

- Вологість тіста (оптимальний діапазон 40–50%).

2. Технологічні параметри:

- Час замішування: від 6 до 12 хвилин залежно від вологовмісту.

- Температура замішування: 24–28 °С для запобігання перегріву.

- Швидкість обертання мішального органу.

3. Контроль показників:

- Пластичність, в'язкість, еластичність тіста.

- Витрати енергії на замішування.

5.2. Механічне оброблення

1. Обробка тіста після замішування:

- Формування тіста в робочих зонах обладнання.

- Вивчення впливу механічного оброблення на рівномірність структури.

2. Технологічні параметри:

- Тиск у робочій зоні.

- Швидкість обертання шнека або інших механізмів.

- Тривалість формувальних операцій.

5.3. Ферментація та кінцева обробка

1. Вивчення процесів бродіння:

- Вплив кислотності на структуру тіста.

- Оцінка розподілу газових пор у тісті.

2. Вплив кінцевого формування на якість виробу:

- Рівномірність пористості.

- Щільність тіста.

Методи дослідження

1. Реометричний аналіз:

- Вимірювання в'язкості та еластичності тіста.

- Оцінка механічного опору під час замішування та формування.

2. Мікроскопічний аналіз:

- Вивчення структури тіста та розподілу газових пор.

3. Енергетичний аналіз:

- Вимірювання споживання енергії на різних етапах замішування та оброблення.

4. Органолептична оцінка:

- Аналіз готових виробів на текстуру, смак і аромат.

Отримані результати дозволять:

- Підвищити якість житньо-пшеничних виробів завдяки оптимізації процесів замішування та оброблення.

- Скоротити енергоспоживання за рахунок ефективного використання обладнання.

- Розширити асортимент хлібобулочних виробів із покращеними органолептичними характеристиками.

- Забезпечити стабільність виробничих процесів у промислових умовах.

Дослідження допоможе адаптувати виробництво до сучасних вимог споживачів і підвищити конкурентоспроможність продукції на ринку.

3.1. Особливості енергоспоживання під час замішування житньо-пшеничного тіста

Замішування житньо-пшеничного тіста є енергоємним процесом, оскільки передбачає механічне змішування інгредієнтів до отримання однорідної структури з певними фізико-хімічними властивостями. Енергоспоживання цього процесу залежить від кількох факторів, які варто враховувати для оптимізації роботи тістомісильного обладнання.

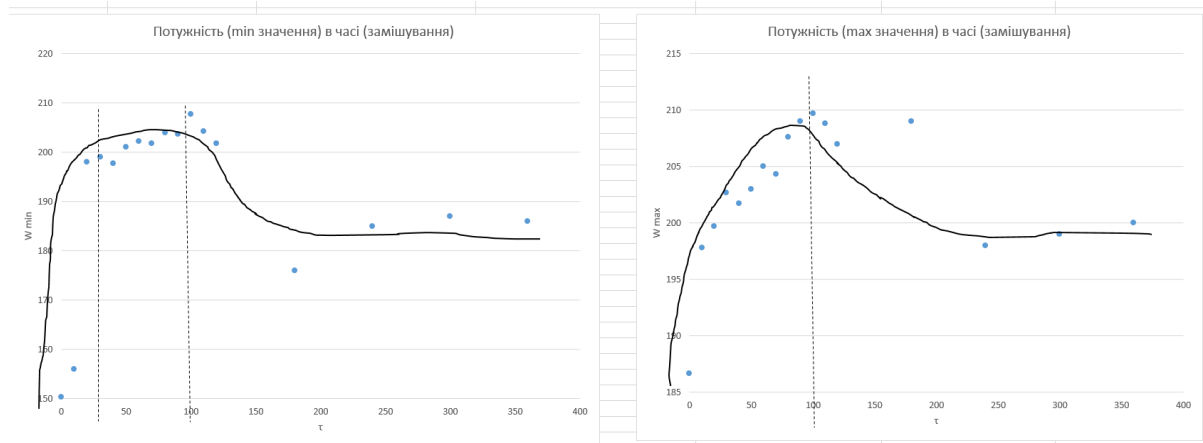


Рис.3.3 Графіки зміни потужності (мін та max) в часі під час замішування тіста

На цьому зображенні (Рис.3.3) представлено два графіка, що ілюструють зміну потужності в часі під час процесу замішування тіста:

1. Лівий графік:

- Відображає мінімальну потужність W_{\min} залежно від часу τ .
- На графіку видно, що на початку процесу потужність зростає, досягає плато, а потім поступово знижується. Ця поведінка свідчить про початковий опір тіста під час замішування, стабілізацію та подальше зменшення зусиль у міру розвитку структури тіста.

2. Правий графік:

- Відображає максимальну потужність W_{\max} залежно від часу τ .
- Потужність спершу зростає, досягаючи пікового значення, після чого поступово знижується. Це характеризує зміну консистенції тіста під час

замішування, коли досягається оптимальна структура, а потім відбувається її стабілізація.

Аналіз змін мінімальної та максимальної потужності під час замішування допомагає визначити критичні моменти процесу, такі як досягнення оптимального замішування, після якого структура тіста стає більш стабільною.

Отримані дані дозволяють налаштувати параметри роботи змішувально-бродильно-формуального агрегату для забезпечення ефективного замішування та оптимізації енергоспоживання.

Ці графіки є важливими для моделювання та управління процесами, пов'язаними з виготовленням сухарних виробів.

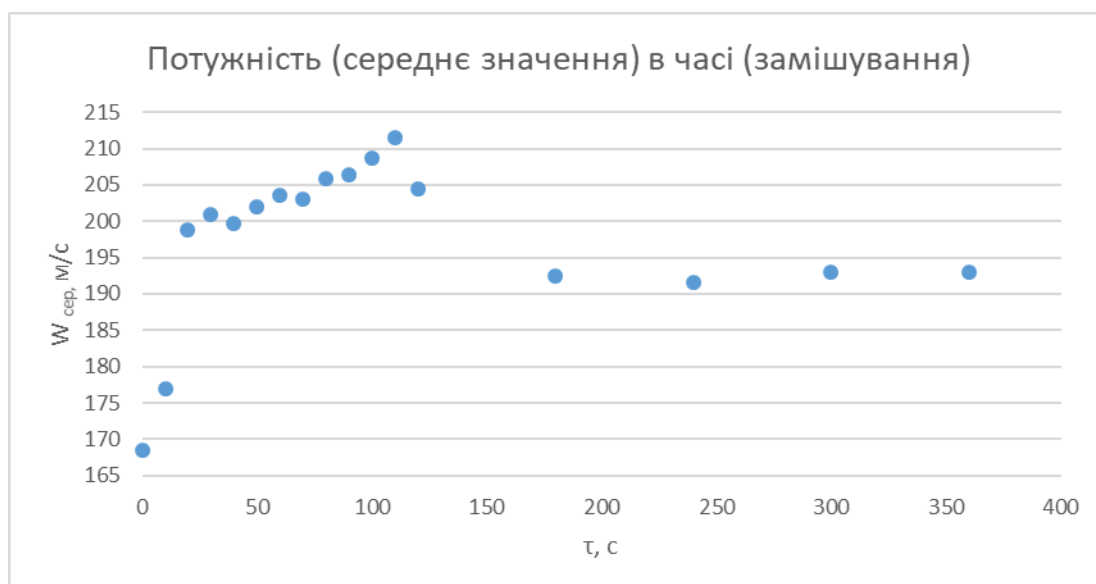


Рис.3.4 Графік зміни середньої потужності під час замішування тіста

З наданого зображення екрану (Рис.3.4) ми бачимо графік, який, відображає зміну потужності в процесі замішування тіста в часі.

Такий характер графіка може бути пояснений наступним чином:

Початковий підйом потужності: На початку процесу місильна машина витрачає найбільше енергії на розбиття грудок борошна, замішування інгредієнтів та формування тіста.

Досягнення піку: Після деякого часу тісто набуває певної однорідності, і для його подальшого оброблення потрібно менше енергії.

Зниження потужності: Після досягнення піку потужність поступово знижується, що може свідчити про завершення інтенсивного замішування та перехід до стадії більш однорідного перемішування.

Ця діаграма може бути використана для ілюстрації кількох важливих аспектів:

Енергоспоживання: Графік демонструє динаміку зміни енергоспоживання в процесі замішування, що може бути використано для оцінки енергоефективності різних режимів роботи місильної машини.

Оптимізація процесу: Аналіз графіка дозволяє визначити оптимальний час замішування, при якому досягається необхідна якість тіста при мінімальних енерговитратах.

Наданий графік є цінним матеріалом, вона дозволяє візуально представити динаміку енергоспоживання в процесі замішування тіста і може бути використана для підтвердження теоретичних положень та обґрунтування практичних рекомендацій.

3.2. Дослідження процесу екструдювання газонаповненого житньо-пшеничного тіста

У будь-якому вигляді процес формування передбачає цілеспрямовану деформацію сировини до потрібної форми за допомогою відповідних інструментів. В екструдерній технології таким інструментом є матриця (формувальний канал), конструкція якого має вплив на параметри і форму екструдату, а отже, і на якість його поверхні. Процес екструзії газонаповненого дріжджового тіста визначається неньютонівським характером течії і характеризується специфічними особливостями, пов'язаними зі збільшенням поперечного перерізу джгута після формування через явище мундштучного набухання та інтенсивним виділенням вуглекислого газу через різкий перепад тиску від надлишкового до атмосферного, що, в свою чергу, визначає параметри і якість готового продукту.

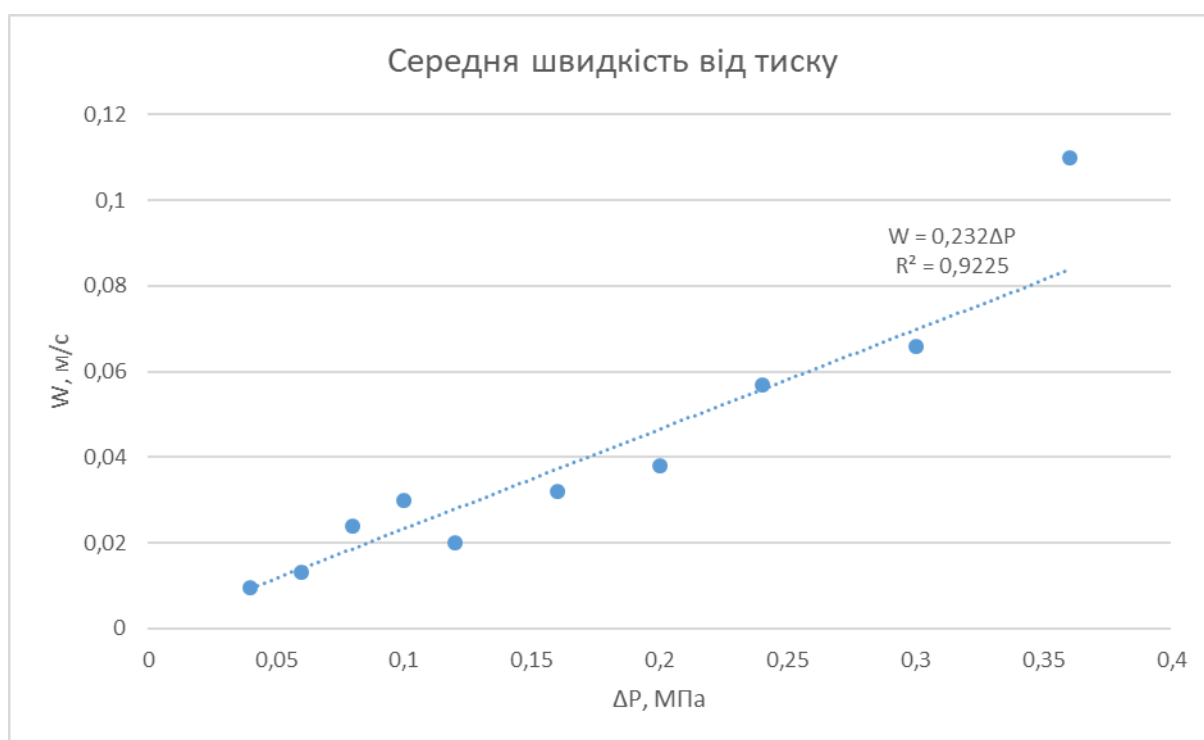


Рис.3.5 Графік залежності середньої швидкості від тиску під час замішування

На представленому графіку (Рис.3.5) зображено залежність середньої швидкості від тиску в процесі замішування тіста. Такий графік є цінним інструментом для аналізу та оптимізації процесу замішування.

Пряма пропорційність: Лінія тренда має позитивний нахил, що свідчить про пряму пропорційність між середньою швидкістю та тиском. Це означає, що зі збільшенням тиску середня швидкість також збільшується.

Коефіцієнт кореляції: Значення R^2 близьке до 1, що вказує на високу ступінь лінійної залежності між двома змінними. Тобто, зміни тиску добре пояснюють зміни середньої швидкості.

Вплив тиску на швидкість: Збільшення тиску, ймовірно, пов'язане зі збільшенням опору тіста місильним органам. Для подолання цього опору необхідно збільшувати швидкість обертання місильних органів.

Оптимізація процесу: Аналіз цього графіка дозволяє визначити оптимальний діапазон тисків, при якому досягається необхідна якість тіста при мінімальних енерговитратах. Занадто низький тиск може призвести до недостатнього розвитку клейковини, а занадто високий - до перемішування тіста і погіршення його якості.

Врахування неоднорідності тіста: Слід пам'ятати, що тісто є неоднорідною системою, і тому середнє значення швидкості може не відображати локальні процеси, що відбуваються в різних областях місильної камери.

Представлений графік є важливим елементом. Він дозволяє зробити висновки про вплив тиску на процес замішування тіста і може бути використаний для оптимізації технологічного процесу.

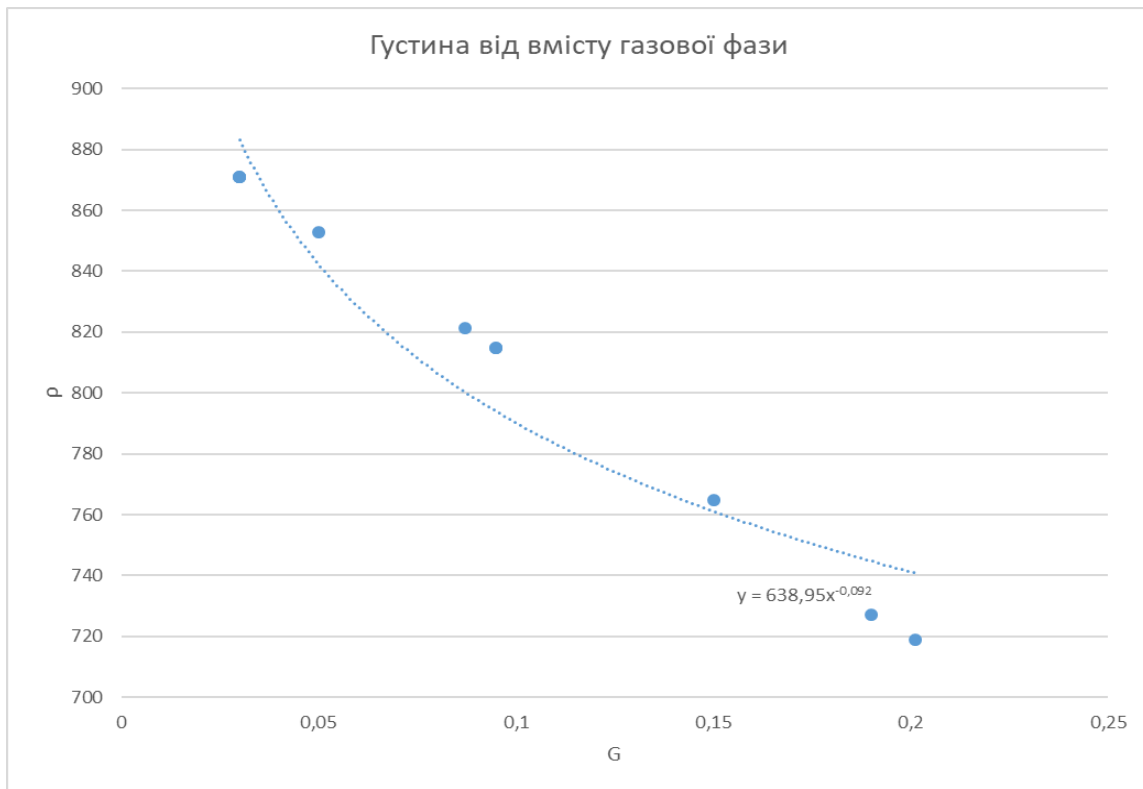


Рис.3.6 Графік залежності вмісту газової фази тіста від його густини

На представленому графіку (Рис.3.6) зображена залежність вмісту газової фази в тісті від його густини. Це означає, що чим більша густина тіста, тим менший вміст у ньому повітряних бульбашок. Така залежність є типовою для харчових продуктів, зокрема, для тіста.

Зворотна пропорційність: Лінія тренда має негативний нахил, що свідчить про обернену пропорційність між вмістом газової фази та густиною тіста. Тобто, зі збільшенням густини тіста, вміст повітря в ньому зменшується.

Нелінійність: Залежність не є строго лінійною, що вказує на складні фізико-хімічні процеси, які відбуваються під час замішування тіста.

Вплив густини на пористість: Густина тіста є важливим показником, який впливає на його пористість і об'єм хліба. Чим більша густина, тим менше пор у готовому продукті.

Оптимізація процесу замішування: Аналіз цього графіка дозволяє визначити оптимальну густина тіста для досягнення бажаної пористості

хліба. Занадто низька густина може призвести до надмірної пористості і нестабільної структури хліба, а занадто висока - до щільного і важкого хліба.

Контроль якості: Вимірювання густини тіста може використовуватися як один з методів контролю якості на виробництві.

Представлений графік є важливим елементом. Він дозволяє зробити висновки про вплив густини тіста на його пористість і може бути використаний для оптимізації технологічного процесу виготовлення хліба.

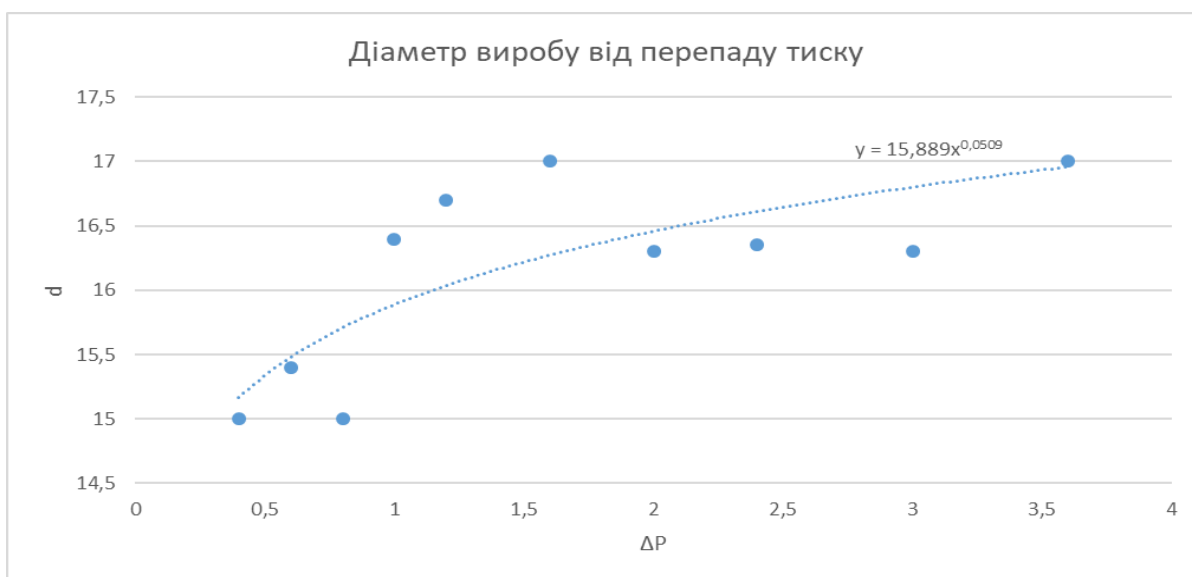


Рис.3.7 Графік залежності діаметру виробу від перепаду тиску

На представленому графіку (Рис.3.7) зображено залежність діаметра готового виробу від перепаду тиску в процесі формування. Цей графік демонструє, як змінюється розмір отвору в продукті залежно від прикладеного тиску.

3.3. Реологічні характеристики житньо-пшеничного тіста

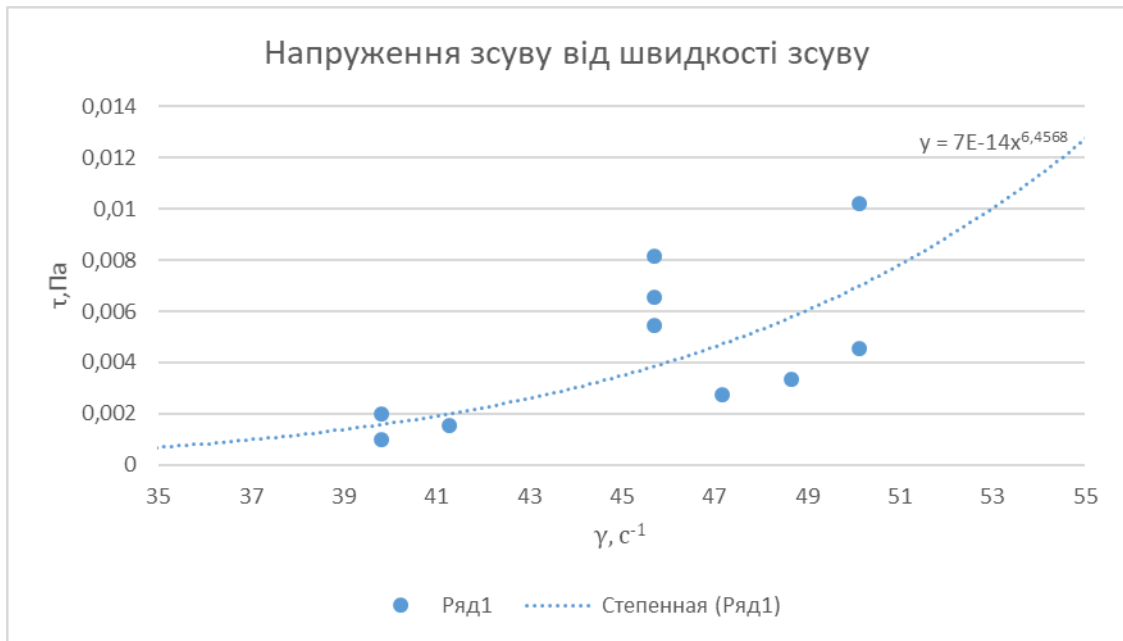


Рис.3.1 Графік залежності напруження зсуву від швидкості зсуву

Нами проведено дослідження залежності напруження зсуву від швидкості зсуву для досліджуваного матеріалу (Рис.3.1). На графіку представлено експериментальні точки (синім кольором) та трендова крива, побудована за степеневою залежністю, з відповідним рівнянням, яке описує взаємозв'язок між цими параметрами

$$\tau = 14 \cdot 10^7 \gamma^{6,5}$$

де τ - напруження зсуву, Па ($\text{Н}/\text{м}^2$)

γ - швидкість зсуву, с^{-1}

Напруження зсуву є одним із важливих реологічних параметрів, що характеризують тісто, зокрема його здатність чинити опір деформації під дією сил.

Швидкість зсуву відображає швидкість прикладення зовнішніх сил.

Ця залежність використовується для моделювання поведінки тіста під час замішування та інших етапів обробки, що є важливим для проектування змішувально-бродильно-формувального агрегату.

Для подальшого опису можна деталізувати, що отримана крива демонструє нелінійний характер залежності, властивий структурованим

матеріалам, до яких належить житньо-пшеничне тісто. Це підтверджує складну реологічну природу тіста, що необхідно враховувати при проектуванні обладнання.

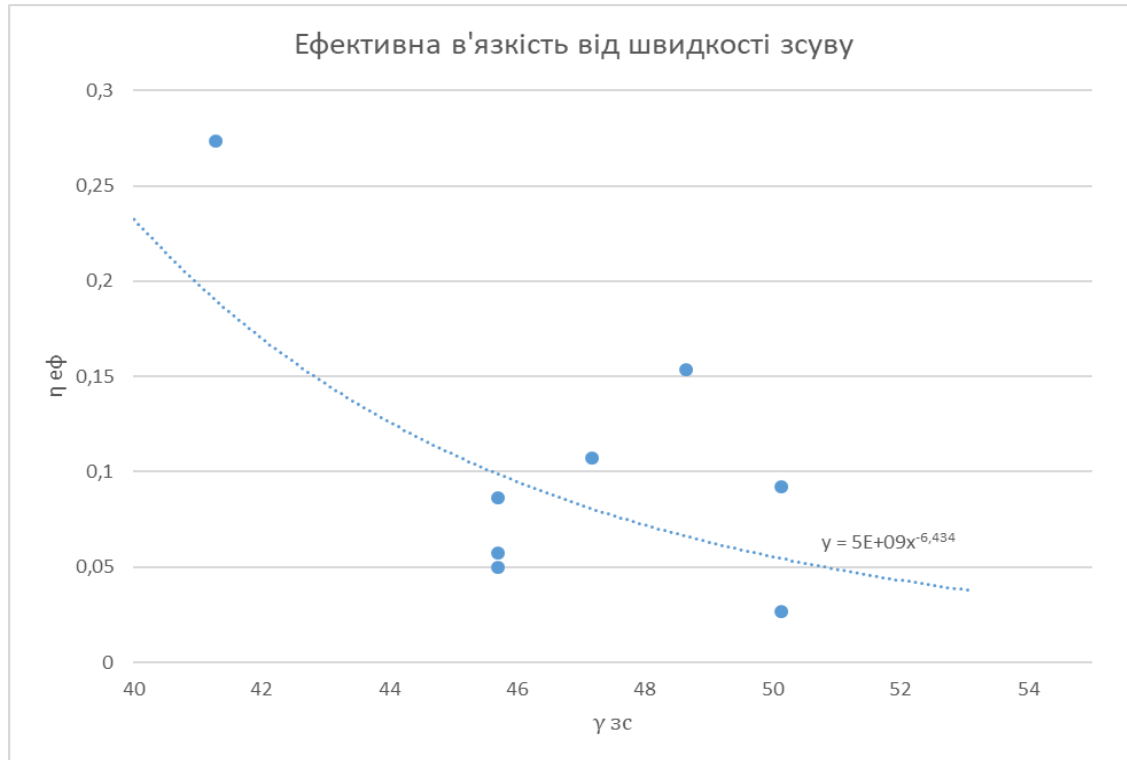


Рис.3.2 Графік залежності ефективної в'язкості від швидкості зсуву

Цей графік (Рис.3.2) відображає залежність ефективної в'язкості $\eta_{еф}$ від швидкості зсуву $\gamma_{зс}$ для житньо-пшеничного тіста. На графіку зображені експериментальні дані (сині точки) та трендова крива зі степеневою залежністю, що описується рівнянням

$$\eta_{еф} = 9 \cdot 10^5 \gamma^{6,4}$$

де $\eta_{еф}$ – ефективна в'язкість, Па·с,

$\gamma_{зс}$ - швидкість зсуву, c^{-1}

Ефективна в'язкість є ключовим показником реологічних властивостей тіста, що визначає його опірність до зовнішніх впливів під час технологічних процесів, таких як замішування, формування та бродіння.

Графік демонструє зниження ефективної в'язкості зі зростанням швидкості зсуву, що свідчить про тиксотропну природу тіста, характерну для неньютонівських рідин.

Отримані дані дозволяють зробити висновок про зміну структури тіста під дією навантажень, що потрібно враховувати при проектуванні та налаштуванні змішувально-бродильно-формуального агрегату.

Ця інформація підкреслює важливість вивчення реологічних характеристик для забезпечення оптимальної роботи обладнання та отримання високоякісної продукції.

Пряма пропорційність: Лінія тренда має позитивний нахил, що свідчить про пряму пропорційність між діаметром отвору в готовому виробі та перепадом тиску. Це означає, що зі збільшенням перепаду тиску, діаметр отвору в продукті також збільшується.

Нелінійність: Незважаючи на загальну тенденцію до збільшення, залежність не є строго лінійною. Це може бути пов'язано з деформацією матеріалу під час пресування, особливостями конструкції пресувального апарату та іншими факторами.

Вплив тиску на розмір виробу: Зі збільшенням перепаду тиску збільшується і діаметр отвору в готовому виробі. Це відбувається через те, що більший тиск деформує тісто сильніше, розширюючи отвір.

Точність формування: Графік демонструє, наскільки точно розмір готового виробу відповідає заданому тиску. Відхилення від лінії тренда можуть свідчити про нестабільність процесу формування або про інші фактори, що впливають на розмір виробу.

Оптимізація процесу: Аналіз цього графіка дозволяє визначити оптимальний перепад тиску для отримання виробів необхідного розміру.

Розробка технологічних режимів: На основі отриманих даних можна розробити оптимальні режими формування заготовок, які забезпечать отримання виробів необхідної форми і розміру.

Контроль якості: Вимірювання діаметрів отворів у готових виробах і контроль перепаду тиску може використовуватися як один з методів контролю якості продукції.

Калібрування обладнання: Отримані дані можуть бути використані для калібрування пресувального обладнання і забезпечення необхідної точності формування.

Представлений графік демонструє пряму залежність між розміром отвору в готовому виробі і перепадом тиску. Це дозволяє зробити висновок про те, що процес формування заготовок відбувається стабільно і передбачувано. Однак, для більш повного розуміння процесу необхідно провести додаткові дослідження, включаючи аналіз впливу інших факторів на розміри готових виробів.

4 Техніко-економічне та соціальне обґрунтування розробки

Цей розділ є одним з основних етапів розробки інноваційного обладнання для хлібопекарського виробництва, зокрема змішувально-бродильно-формуального агрегату продуктивністю 80 кг/год. Метою цього розділу є аналіз технічних рішень, оцінка економічної доцільності впровадження та прогнозування рентабельності роботи агрегату у виробничих умовах.

1. Обґрунтування вибору конструкції агрегату

Технічні характеристики запропонованого обладнання розроблені з урахуванням сучасних вимог до виробництва сухарних виробів. Вибір конструкційних матеріалів, системи автоматизації та механічних компонентів був здійснений, виходячи з їхньої надійності, довговічності та економічної вигоди. Основні технічні рішення включають:

- Використання енергоефективних електродвигунів, які забезпечують мінімізацію витрат електроенергії під час експлуатації агрегату.
- Автоматизація процесів замішування, бродіння та формування, що зменшує необхідність у ручній праці та сприяє стабільності якості продукції.
- Вибір матеріалів із високою стійкістю до корозії, що знижує витрати на технічне обслуговування та подовжує термін служби обладнання.

2. Аналіз витрат на виробництво і експлуатацію

Розрахунок витрат на виробництво обладнання враховує такі основні показники:

- Вартість матеріалів і комплектуючих: залежить від використаних матеріалів (нержавіюча сталь, полімери, які відповідають харчовим стандартам), систем управління та автоматизації.
- Витрати на виробництво: включають витрати на обробку матеріалів, зварювальні та монтажні роботи, а також витрати на технічне налаштування і випробування.

- Експлуатаційні витрати: включають витрати на електроенергію, технічне обслуговування, заміну окремих компонентів і забезпечення санітарно-гігієнічних вимог.

3. Окупність інвестицій та прогнозування рентабельності

Для визначення економічної доцільності використання агрегату в реальних умовах було розраховано показники окупності та рентабельності. Встановлено, що використання запропонованого агрегату з продуктивністю 80 кг/год дозволяє підвищити ефективність виробництва сухарних виробів за рахунок:

- Зниження витрат на електроенергію завдяки енергоощадним компонентам.

- Підвищення продуктивності праці та зменшення витрат на заробітну плату завдяки автоматизації.

- Зниження витрат сировини за рахунок точності дозування і стабільності якості продукції.

Згідно з розрахунками, впровадження агрегату дозволяє окупити витрати на його виробництво та установку протягом 1,5-2 років, що свідчить про високу економічну ефективність проекту.

4. Прогнозований вплив на екологію та економічний ефект

Запровадження агрегату також сприятиме поліпшенню екологічної ситуації за рахунок:

- Зменшення енергоспоживання, що відповідно зменшить викиди CO₂ в атмосферу.

- Впровадження систем утилізації відходів виробництва, що знижує негативний вплив на навколишнє середовище.

- Зниження витрат на сировину за рахунок оптимізації процесу замішування і дозування.

Економічний ефект полягає у підвищенні конкурентоспроможності підприємства та можливості збільшення обсягів продукції без додаткових витрат на розширення виробничих площ та трудових ресурсів.

Згідно з проведеним техніко-економічним обґрунтуванням, розробка та впровадження змішувально-бродильно-формуального агрегату продуктивністю 80 кг/год для виробництва сухарних виробів є економічно доцільною. Агрегат дозволяє значно підвищити ефективність і рентабельність виробництва, забезпечує стабільну якість продукції та відповідає сучасним екологічним вимогам.

Соціальне обґрунтування розробки

1. Забезпечення якісного харчування

Сухарні вироби, виготовлені на основі житньо-пшеничного тіста, є популярним і корисним продуктом харчування, багатим на вітаміни групи В, клітковину, мінерали (залізо, калій, магній) та складні вуглеводи. Вони підтримують здорове травлення і забезпечують організм енергією. Розробка змішувально-бродильно-формуального агрегату дозволить забезпечити споживачів доступними і якісними продуктами, що відповідають сучасним стандартам харчування.

2. Попит на екологічно чисті продукти

Сучасні споживачі надають перевагу натуральним та екологічно чистим продуктам без штучних добавок. Розробка передбачає можливість виготовлення виробів із натуральних інгредієнтів, використання заквасок замість хімічних розпушувачів, що відповідає вимогам здорового способу життя.

3. Забезпечення продовольчої безпеки

Сухарні вироби є тривалозберігаючим продуктом, що грає важливу роль у формуванні стратегічних резервів харчових продуктів. Автоматизація та підвищення продуктивності виробничого процесу сприятимуть забезпеченню

продовольчої стабільності, особливо у регіонах із низькою доступністю свіжих хлібобулочних виробів.

4. Підвищення ефективності виробництва

Впровадження високопродуктивного змішувально-бродильно-формуального агрегату:

- Зменшує ручну працю, знижуючи ризик професійних захворювань серед працівників.

- Підвищує продуктивність підприємств, дозволяючи випускати більший обсяг продукції при мінімальних витратах.

- Сприяє впровадженню інноваційних підходів до виготовлення продукції.

5. Соціальний вплив на зайнятість населення

Розробка та впровадження такого обладнання створює додаткові робочі місця в галузях машинобудування, харчової промисловості, логістики та маркетингу. Це сприяє економічному зростанню та розвитку регіонів.

6. Доступність продукції для широких верств населення

Зниження собівартості виробництва через автоматизацію процесів дозволить забезпечити доступні ціни на сухарні вироби для різних соціальних категорій населення. Це особливо важливо для пенсіонерів, студентів та інших груп із невисоким рівнем доходу.

7. Розвиток національної економіки

Підтримка вітчизняного виробництва обладнання стимулює розвиток машинобудування та інноваційної діяльності в Україні, зменшуючи залежність від імпортних технологій. Це також сприяє зростанню експорту української продукції на міжнародний ринок.

Розробка змішувально-бродильно-формуального агрегату не тільки підвищує якість та ефективність виробництва, а й сприяє вирішенню низки соціальних проблем, забезпечуючи населення корисними продуктами

харчування, підтримуючи економічну стабільність і підвищуючи рівень життя громадян.

4.1 Опис і будова агрегату

Конструкція ЗБФА дозволяє виконувати заміс і вистоювання тіста, ферментацію, зберігання вуглекислого газу для розкриття тістових заготовок, екструзію і розкриття тістових заготовок на виході в одному агрегаті.

Вуглекислий газ утворюється і розчиняється під час бродіння тіста під тиском у герметичній камері ЗБФА. Під час екструзії раптовий перепад тиску призводить до того, що діаметр джгута стає більшим за діаметр формувальної канавки на виході з форми. Відкритий продукт безперервно подається безпосередньо в топку печі.

Тістомісильна машина - це ряд механізмів, які подають борошно, змішують його з рідкими інгредієнтами і замішують тісто.

Борошно подається в змішувальну камеру, де рідкі інгредієнти розпилюються форсунками, і в місильну камеру, де замішується тісто.

Шнек і кулачок викликають постійну деформацію зсуву тіста, в результаті чого в машині відбувається процес замісу.

Робочий орган складається з двох валів, що обертаються в одному напрямку, що збільшує продуктивність замісу. Для забезпечення тристадійного процесу замісу робочий орган складається з трьох частин, залежно від стадії замісу тіста.

На першій стадії замішування тіста, коли змішуються сипучі та рідкі інгредієнти, шнек оптимізований для змішування інгредієнтів і створення однорідної структури.

Другий етап, власне заміс і пластифікація, вимагає не тільки змішування, але й більшого механічного впливу. Тому для замішування тіста використовуються кулачки, які посилюють вплив на тісто.

На третьому етапі, етапі остаточного замісу і транспортування, після кулачкового робочого органу використовується шнек для прискорення вивантаження тістової маси після остаточного замісу.

Машина складається з місильного валу з робочим органом в центрі та корпусу зведеного із двох циліндрів, які переходять у формувальну головку. Борошно подається в машину через патрубок, який обладнаний двома емнісними покажчиками рівня. Рідкий матеріал подається через патрубок.

Машина працює наступним чином. Всі інгредієнти безперервно подаються невеликими порціями з дозатора в передню частину місильної ємності, де вони послідовно перемішуються шнеком, кулачком і ще одним шнеком і переміщуються через місильну камеру до формувальної головки. При русі до виходу маса перемішується, а готовий продукт вивантажується.

Кінематична система машини проста, ефективна і високоефективна. Привід машини здійснюється безпосередньо від мотор-редуктора до валу через муфту.

Місткість камери бродіння розраховується за часом перебування тіста в камері бродіння для накопичення вуглекислого газу, необхідного для розпушення тістових заготовок перед випіканням.

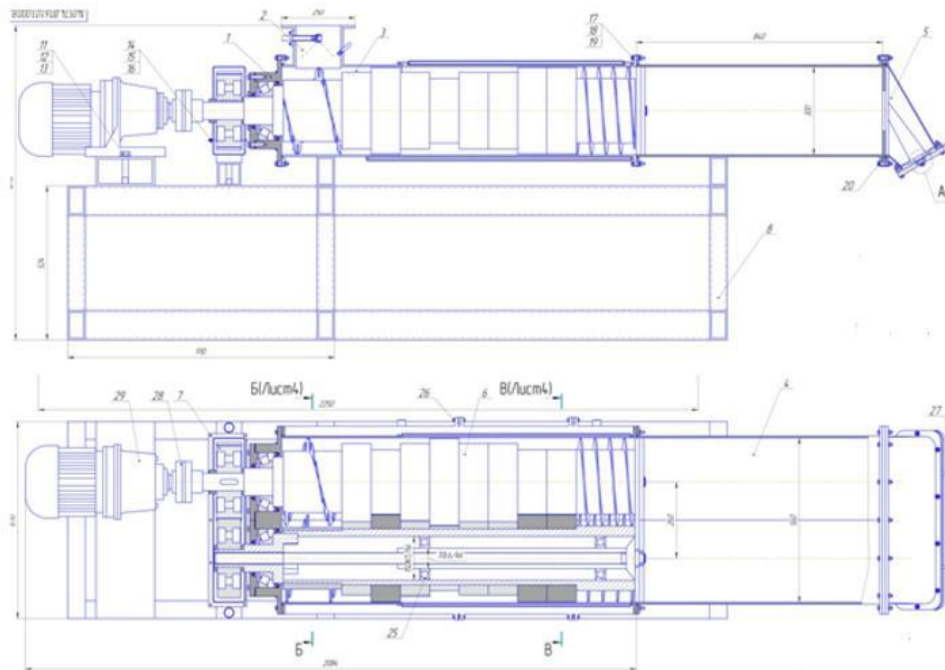


Рис 4.1. Конструкція змішувально-бродинно-формуального агрегату:

1 – підшипниковий вузол; 2 – камера змішування; 3 – камера замішування; 4 – камера бродіння; 5 – формувальна головка; 6 – робочий орган; 7 – зубчаста передача; 8 – рама; 9 – формувальна плита; 10 – формувальна матриця.

Після бродіння тісто проходить через формувальні отвори в матриці і притискається безпосередньо до підлоги печі.

На виході з формувальних каналів тісто розширюється за рахунок вуглекислого газу, накопиченого під час бродіння.

Дослідження поведінки газонаповненого тіста показали, що для отримання розширеної структури м'якушки з мікропорами в екструдованому продукті форма повинна бути належним чином спроектована. На виході з формувального каналу тістової матриці відновлюється в'язкопружна структура і збільшуються поперечні розміри екструдованого продукту.

В результаті експериментальних досліджень були сформульовані конструктивні вимоги до прес-форм для екструзії дріжджового газонаповненого тіста для отримання добре розвиненої та однорідної мікропористої структури м'якушки та забезпечення гладкої поверхні тістової заготовки. Відформована частина проточного каналу повинна мати

мінімальну довжину, що гарантує максимальне розширення тістового джгута, виходячи з конструктивних міркувань.

Дотримання вимог, розроблених під час проектування форми, забезпечує високу якість тіста та готової продукції.

Замішування, вистоювання, бродіння, формування та вивантаження в одному безперервному агрегаті зменшує виробничі площі та витрати на експлуатацію обладнання і дозволяє формувати дріжджове тісто безпосередньо в пекарні.

4.2 Розрахункова частина

4.2.1. Розрахунок продуктивності змішувально-бродильно-формуального агрегату

Провідним обладнанням хлібопекарського виробництва є піч, тому все обладнання (включаючи ЗБФА) підбирають та розраховують, виходячи з продуктивності печі по хлібних паличках. Для розрахунку підбираємо циклотермічну кондитерську піч WSL-8090 польської фірми «Rem-Piek» (рис.4.2.) з параметрами:

довжина поду печі, мм	18000
ширина поду печі, мм	600
діаметр виробу	25 мм
тривалість випікання, хв.	16
зазор між рядами виробів, мм	20



Рис.4.2.. Піч польської фірми «Rem-Piek» WSL-8090

1. Кількість виробів (хлібних паличок) в ряду по ширині поду печі:

$$N = \frac{B - a}{d + a} = \frac{600 - 20}{25 + 20} = 13 \text{ (шт)},$$

Де: B – ширина поду печі, a – зазор між паличками, d – діаметр виробу;

2. Продуктивність печі годинна, кг/год:

$$P_{год} = v \cdot m_{ун} \cdot N \cdot 3600 \text{ (кг/год);),}$$

$$v = \frac{L}{\tau \cdot 60 \cdot 1000} = \frac{18000}{16 \cdot 60 \cdot 1000} = 0,019 \text{ (м/с),}$$

v – лінійна швидкість руху транспортера;

$$m_{ун} = \rho \cdot l \cdot \frac{\pi \cdot d_{сер}^2}{4} = 400 \cdot 1 \cdot \frac{3.14 \cdot 0,020^2}{4} = 0,126 \text{ (кг),}$$

$m_{ун}$ – маса виробу (погонного метра);

$$P_{год} = v \cdot m_{ун} \cdot N \cdot 3600 = 0,019 \cdot 0,091 \cdot 13 \cdot 3600 = 80,92 \text{ (кг/год);}$$

3. Продуктивність добова, т/добу:

$$P_{доб} = \frac{P \cdot 23}{1000},$$

$$P_{доб} = \frac{80,92 \cdot 23}{1000} = 1,86 \text{ т/добу.}$$

4. Секундна продуктивність, кг/с:

$$P_c = \frac{P_{год}}{3600} = \frac{80,92}{3600} = 0,022 \text{ кг/с}$$

4.2.2. Розрахунок геометричних розмірів ЗБФА

Визначаємо об'єм бродильної камери, базуючись на секундній продуктивності агрегату та тривалості перебування тіста в камері:

$$V_{б.б.} = \frac{P_{с.т.} \cdot \tau_{брод}}{\rho_{тіста}},$$

$$\text{Де } P_{с.} = 0.022 \text{ кг/с};$$

$$\tau_{брод.} = 20 \text{ хв.} = 1200 \text{ с};$$

$$\rho_{тіста} = 1400 \text{ кг/м}^3.$$

$$V_{б.б.} = \frac{0.022 \cdot 1200}{1400} = 0.019 \text{ м}^3.$$

Об'єм камери бродіння визначається за формулою

$$V = 1.6 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l,$$

Вибравши із конструктивних міркувань та ширини поду печі діаметр поперечного перерізу камери визначаємо довжину бродильної камери:

$$\text{Так для: } l = \frac{V \cdot 4}{1.6 \cdot \pi \cdot D^2}$$

$$l = \frac{0.019 \cdot 4}{1.6 \cdot 3.14 \cdot 0.22^2} = 0.313 \text{ м}$$

4.2.3. Розрахунки ЗБФА на міцність

Визначення товщини стінки камери бродіння

Тиск, що діє всередині камери, Па:

$P =$

$0.36 \cdot 10^6$

Внутрішній діаметр циліндричної оболонки D_1 , м

$D_1 = 0.22$

Допустиме напруження матеріалу стінки апарату 12X18H10T σ_p ,

$$[\sigma] = 510 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Надбавка до товщини стінки на корозію δ , м

$\delta = 0.002$

Розраховуємо допустиме напруження матеріалу стінки на розтяг:

$$\sigma = [\sigma] / n,$$

де: n – коефіцієнт запасу міцності, $n = 4$.

$$\sigma = 510 \cdot 10^6 / 4 = 1.27 \cdot 10^8.$$

Визначаємо товщину стінки апарату δ_1 , м:

$$\delta_1 = \frac{P \cdot D_1}{[2 \cdot \beta \cdot [\sigma]] - P} + \delta = \frac{0.36 \cdot 10^6 \cdot 0.220}{2 \cdot 0.85 \cdot 1.27 \cdot 10^8 - 0.36 \cdot 10^6} + 0.002 = 2.4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Приймаємо товщину стінки екструдера більшу за розрахункову відповідно до стандарту $\delta_1 = 0.007$ м.

4.2.4 Розрахунок шнека

Для розрахунку і конструкції шнека, якщо відомий максимальний тиск в змішувальній камері $P_{MAX}=0,36$ (МПа), коефіцієнт тертя продукту $f = 0,3$, густина продукту $\rho = 900\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$.

Зовнішній діаметр шнека приймаємо 220 мм, внутрішній - 40мм а крок шнеку вибираємо конструктивно 40 (мм)

Кут підйому гвинтової лінії біля валу та на зовнішній стороні шнека розраховуємо за наступними формулами:

$$\alpha_D = \arctg\left(\frac{H}{\pi \times D}\right), \quad \alpha_d = \arctg\left(\frac{H}{\pi \times d}\right)$$

$$\alpha_D = \arctg\left(\frac{0,04}{3,14 \times 0,22}\right) = \arctg 0,159 = 11^{\circ}03',$$

$$\alpha_d = \arctg\left(\frac{0,09}{3,14 \times 0,04}\right) = \arctg 0,286 = 16^{\circ}24'$$

Середнє значення кута підйому гвинтової лінії витка шнеку розраховуємо за формулою:

$$\alpha_{CP} = 0,5 \cdot (\alpha_D + \alpha_d) = 0,5 \cdot (11^{\circ}03' + 16^{\circ}24') = 14^{\circ}$$

Допоміжні величини для розрахунку становлять:

$$\cos^2 14^{\circ} = 0,974^2 = 0,95, \quad \text{tg} 14^{\circ} = 0,231, \quad \sin 2 \times 14^{\circ} = 0,469$$

Коефіцієнт відставання часток матеріалу в осьовому напрямку:

$$K_0 = 1 - (\cos^2 \alpha - 0,5 \cdot f \cdot \sin 2\alpha) = 1 - (0,75 - 0,95 \cdot 0,3 \cdot 0,469) = 0,866$$

Згинальний момент по внутрішньому контуру у витку шнека, тобто біля валу, розраховуємо за формулою:

$$M_3 = \frac{P_{MAX} \cdot D^2}{32} \cdot \frac{1,9 - 0,7a^{-4} - 1,2a^{-2} - 5,2 \ln a}{1,3 + 0,7a^{-2}}$$

де P_{MAX} - максимальний тиск, що створюється шнеком; $a = \frac{D}{d}$ - це відношення

діаметру шнека до діаметра валу, $a = \frac{220}{40} = 5.5$

$$M_3 = \frac{0,36 \cdot 10^6 \cdot 0,22^2}{32} \cdot \frac{1,9 - 0,7 \cdot 5,5^{-4} - 1,2 \cdot 1,8^{-2} - 5,2 \ln 5,5}{1,3 + 0,7 \cdot 5,5^{-2}} = -390 (H \cdot m^2)$$

Витки шнеку виготовлені зі 12X18Н10Т, для якої допустиме напруження згинання можемо прийняти допустимому напруженню для розтягу, тобто $125 \cdot 10^6$ (Па). Тоді товщину витка шнеку розраховуємо за формулою:

$$[\sigma] = \pm \frac{6 \cdot M_3}{\delta^2} \quad \text{звідки}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{6 \cdot 390}{125 \cdot 10^6}} = 0,0043 = 4,3 (\text{мм})$$

приймаємо $\delta = 5 (\text{мм})$

Крутний момент на робочих витках шнеку розраховуємо за наступною формулою:

$$M_{KP} = 0,131 \cdot m \cdot (1 - Ko) \cdot P_{MAX} \cdot (D^3 - d^3) \cdot \text{tg} \alpha$$

де m - кількість максимально навантажених кроків шнеку; Ko - коефіцієнт відставання; P_{MAX} - максимальний тиск, який створює шнек,

α - 30° - кут підйому гвинтової лінії витка шнеку,

$$Ko = 1 - (\cos^2 \alpha - 0,5 \cdot f \cdot \sin 2\alpha)$$

де f - коефіцієнт тертя по шнеку продукту:

$$Ko = 1 - (0,75 - 0,95 \cdot 0,3 \cdot 0,469) = 0,866$$

$$M_{KP} = 0,131 \cdot 2 \cdot (1 - 0,866) \cdot 0,36 \cdot 10^6 \cdot (0,22^3 - 0,04^3) \cdot 0,231 = 145,23 (H \cdot m)$$

Осьове зусилля розраховуємо за формулою:

$$S = 0,392 \cdot m \cdot (D^2 - d^2) \cdot P_{MAX} = 0,392 \cdot 2 \cdot (0,22^2 - 0,04^2) \cdot 0,2 \cdot 10^6 = 9383 (H)$$

Дотичні і нормальні і напруження на валу розраховуємо за формулами:

$$\sigma_{СЖ} = \frac{S}{F} = \frac{9383}{0,5 \cdot 0,1^2} = 1,9 (\text{МПа})$$

$$\tau = \frac{M_{KP}}{W_p} = \frac{145,23 \cdot 16}{3,14 \cdot 0,1^3} = 7,4(\text{МПа})$$

Еквівалентне напруження розраховуємо за формулою:

$$\sigma_{EKB} = \sqrt{\sigma_{CЖ}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{1,9^2 + 4 \cdot 7,4^2} = 14,9(\text{МПа})$$

Розраховане напруження знаходиться в межах допустимого напруження для матеріалу (сталь 12Х18Н10Т) валу шнека.

Для полегшення конструкції шнеку і розміщення валу механізму вивантаження замість суцільного валу встановлюємо пустотілий вал, використовуємо трубу. Нормальні і дотичні напруження пустотілого валу визначаємо за формулами:

$$\sigma_{CЖ} = \frac{S}{F} = \frac{9383}{0,5 \cdot (0,1^2 - 0,09^2)} = 98,8(\text{МПа})$$

$$\tau = \frac{M_{KP}}{W_p} = \frac{390}{\frac{3,14 \cdot (0,1^3 - 0,09^3)}{16}} = 7,3(\text{МПа})$$

Еквівалентне напруження розраховуємо за формулою:

$$\sigma_{EKB} = \sqrt{\sigma_{CЖ}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{98,8^2 + 4 \cdot 7,3^2} = 99,87(\text{МПа})$$

Отримане значення напруження більше раніше розрахованого, але менше допустимого.

4.2.5. Розрахунок підшипників

Підбір радіально-упорних роликотпідшипників відбувається за наступними параметрами: радіальне навантаження на підшипник $F_r = 1963,6 \text{ Н}$; осьове навантаження яке прикладається до валу, сприймається підшипником $F_{ab} = 3512 \text{ Н}$; частота обертання валу $n = 32 \text{ об/хв}$; посадковий діаметр валу під підшипник $d = 30 \text{ мм}$; коефіцієнт безпеки $K_\sigma = 1,2$; коефіцієнт обертання кільця $V = 1$; необхідна довговічність $L_h \geq 25000 \text{ год}$ температурний коефіцієнт $K_T = 1,05$;

1. Попередньо вибираємо підшипник середньої серії 7306 за ГОСТ 333-79, в нього динамічна вантажопідйомність $C = 40000 \text{ Н}$; статична вантажопідйомність $C_0 = 29900 \text{ Н}$; кут контакту $\alpha = 14^\circ$

2. Для підшипника осьова складова радіальних навантажень $F_s = 0,83 \cdot e \cdot F_r = 0,83 \cdot 0,37 \cdot 1963,6 = 603,02 \text{ Н}$

$$\text{де } e = 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha = 1,5 \cdot \operatorname{tg} 14^\circ = 0,37$$

3. Розраховуємо осьові навантаження $F_a = F_s + F_{ab} = 603,02 + 3512 = 4115,02 \text{ Н}$

4. Визначаємо співвідношення:

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} = \frac{4115,02}{1 \cdot 1963,6} = 2,09 > e = 0,37$$

Приймаємо коефіцієнти для радіальних і осьових навантажень: $X = 0,4$ і $Y = 0,4 \cdot \operatorname{ctg} \alpha = 0,4 \cdot \operatorname{ctg} 14^\circ = 1,62$.

5. Розраховуємо еквівалентне динамічне навантаження на підшипник

$$P = (X \cdot F_r + Y \cdot F_a) K_\sigma K_T = (0,4 \cdot 1963,6 + 1,62 \cdot 4115,02) \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 9389,2 \text{ Н}$$

6. За табличними даними $\frac{C}{P} = 3,42$, відповідно динамічна вантажопідйомність $C = 3,42 \cdot P = 3,42 \cdot 9389,2 = 32111,1 \text{ Н}$. Вибраний нами

підшипник середньої серії 7306 з динамічною вантажепідйомністю $C = 40000 \text{ Н}$ яка більше за розраховану. Отже: вибір підшипника є вірним.

4.2.6. Кінематичний розрахунок приводу машини, підбір двигуна-редуктора

Вихідні дані:

Потужність на валу шнека: $N=1.8$ кВт;

Частота обертання валу шнека: $n_{\text{вих}}=45$ об/хв.;

Термін служби –4 роки;

Число робочих змін на добу –3.

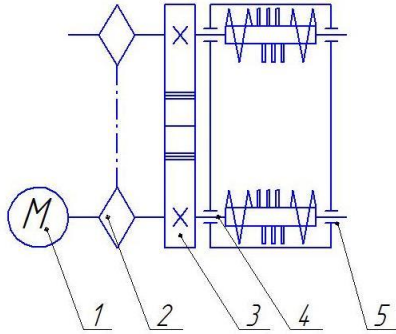


Рис.4.3 Кінематична схема приводу ЗБФА

1 - Двигун-редуктор; 2- Ланцюгова передача; 3- Зубчаста передача;

4 - Вал; 5- Підшипникова опора

Розраховуємо крутний момент на вихідному валу :

$$T_{\text{вих}} = \frac{N_{\text{вих}}}{\omega_{\text{вих}}} \quad \text{де } \omega_{\text{вих}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{вих}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 45}{30} = 4,71 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\text{Тоді: } T_{\text{вих}} = \frac{1800}{4,71} = 402,59 \text{ Нм}$$

Потужність двигуна знаходимо за формулою :

$$N_{\text{двигуна}} = \frac{N_{\text{вих}}}{\eta_{\text{привода}}} = \frac{1800}{0,737} = 2442 \text{ Вт};$$

$$\text{де } \eta_{\text{привода}} = \eta_{\text{редуктора}} \cdot \eta_{\text{зуб.}} \cdot \eta_{\text{п.}} \cdot \eta_{\text{п.}} = 0,8 \cdot 0,94 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,737;$$

$\eta_{\text{редуктора}}$ – ККД двигуна -редуктора (0,8)

$\eta_{\text{зуб.}}$ – ККД циліндричної прямозубої зубчатої передачі (0,94) ;

$\eta_{\text{п.}}$ – ККД пари підшипників (0,99) ;

З каталогу стандартних електродвигунів підбираємо електродвигун типу: АИР100S4 Номінальна потужність - 3.0 кВт ; Номінальні значення двигуна - 1390 об/хв, $\frac{T_{пуск}}{T_n} = 2.2$ за ГОСТ 19523-81 ;

Знаходимо крутний момент на вхідному валу агрегату:

$$T_2 = \frac{T_{\text{вх}}}{\eta_{\text{двигуна}}} = \frac{402.59}{0.737} = 546.2 \text{ Нм}$$

Вибираємо двигун-редуктор за наступними характеристиками: $T_1=546\text{Нм}$; $n=45$ об/хв. $N_{\text{двигуна}}=3.0\text{кВт}$.

Приймаємо двигун-редуктор SEWEURODRIVE KAF77DV100L4, у якого $T_1=630\text{Нм}$; $n=45$ об/хв. $N_{\text{двигуна}}=3.0\text{кВт}$. $SEW=2.5$, $m=83$ кг.; $i=30.89$.

Рис.4.4. Ескіз двигун-редуктора KAF77DV100L4

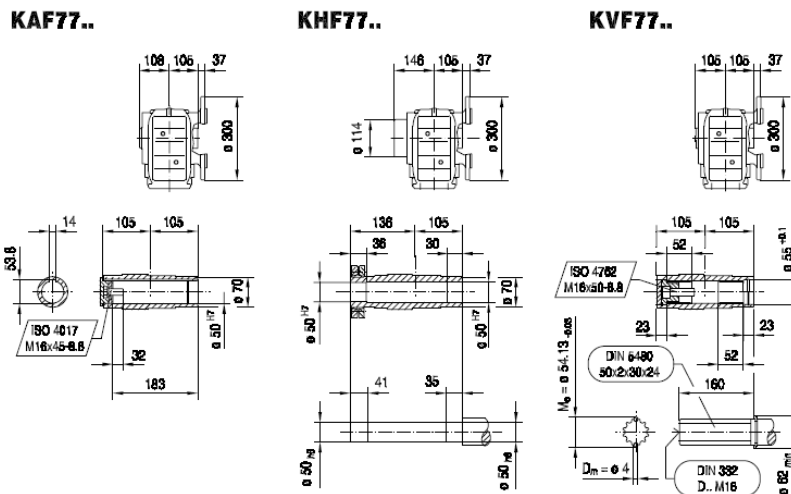
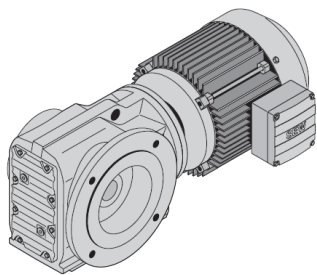


Рис. 4.5
Габаритні та приєднувальні розміри двигуна-редуктора KAF77DV100L4

(←) (102)	DT71D	DT80..	DT90..	DV100M	DV100L	DV112M	DV132S	DV132M	DV132ML	DV160M
AC	145	145	197	197	197	221	221	275	275	275
AD	122	122	154	166	166	179	179	230	230	230
ADS	127	127	161	166	166	182	182	230	230	230
L	505	555	573	623	653	657	702	724	784	784
LS	569	619	658	708	738	737	782	836	896	896
LB	193	243	261	311	341	345	390	412	472	472
LBS	257	307	346	396	426	425	470	524	584	584

Знаходимо загальне передавальне число привода:

$$u_{i\partial} = \frac{n_{\text{двигуна}}}{n_{\text{вх}}} = \frac{1390}{45} = 30.89;$$

Передавальне число привода складається з добутку передавальних чисел лвигуна-редуктора і відкритої прямозубої циліндричної передачі.

$$\text{Оскільки } i_{\text{редуктора}} = 30,89 \text{ Тоді: } i_2 = \frac{u_{i\partial}}{i_{\text{двигуна}}} = \frac{30.89}{1} = 30,89$$

Прямозубу передачу використовуємо для забезпечення сталої кількості обертів другого валу.

Знаходимо потужності на окремих валах машини:

$$N_1 = N_{\text{двигуна}} = 2442(\text{Вт});$$

$$N_2 = N_1 \cdot \eta_{\text{редуктора}} = 2442 \cdot 0,8 = 1954(\text{Вт});$$

$$N_3 = N_2 \cdot \eta_{\text{п.}} \cdot \eta_{\text{зуб.}} = 1954 \cdot 0,99 \cdot 0,94 = 1818(\text{Вт});$$

$$N_4 = N_3 \cdot \eta_{\text{п}} = 1818 \cdot 0,99 = 1800(\text{Вт});$$

Потужність $N_4 = 1800 \text{ Вт}$ розподіляється між двома шнеками.

Знаходимо частоту обертання окремих валів машини:

$$n_1 = n_{\text{дв}} = 1390(\text{об} / \text{хв});$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{\text{ред}}} = \frac{1390}{30.89} = 45(\text{об} / \text{хв});$$

$$n_3 = n_2 = 45(\text{об} / \text{хв});$$

$$n_4 = \frac{n_3}{i_{\text{зуб}}} = \frac{45}{1} = 45(\text{об} / \text{хв})$$

Знаходимо кутові швидкості на окремих валах агрегату:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3.14 \cdot 1390}{30} = 145,49(\text{рад} / \text{с})$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{i_{\text{ред}}} = \frac{145.49}{30.89} = 4.71 \text{ рад} / \text{с}$$

$$\omega_3 = \omega_2 = 4.71(\text{рад} / \text{с})$$

$$\omega_4 = \frac{\omega_3}{i_{\text{зуб}}} = \frac{4,71}{1} = 4.71(\text{рад} / \text{с})$$

Розраховуємо крутні моменти на окремих валах приводу :

$$T_4 = 402.59(\text{Н} \cdot \text{м})$$

$$T_3 = \frac{T_4}{\eta_{\text{зуб}} \cdot \eta_{\text{п}} \cdot i_{\text{зуб}}} = \frac{402.59}{0.94 \cdot 0.99 \cdot 1} = 432.61(\text{Н} \cdot \text{м})$$

$$T_2 = \frac{T_3}{\eta_{\text{п}}} = \frac{432.61}{0.99} = 437(\text{Н} \cdot \text{м})$$

$$T_1 = \frac{T_2}{\eta_{ред.} \cdot i_{ред}} = \frac{432.61}{0.8 \cdot 30.89} = 17.5 (\text{Н} \cdot \text{м})$$

Всі отримані дані заносимо в таблицю для зручності їх подальшого використання

Таб. 4.4 Таблиця отриманих даних

Номер ала	Н В ала	Потужність на валу N,Вт	Час тота обертання валу n,об /хв	Кут ові шви дкості валів, рад/ с	Кр утний момент на валах Т, Н·м	Переда вальне число
	I	2442	139 0	145. 49	17 .5	
I	I	1954	45	4.71	43 7	30.89
II	I	1818	45	4.71	43 2.61	1
V	I	1800	45	4.71	40 2.59	

Визначаємо загальну кількість годин роботи приводу

$$\sum t = 8 \cdot c \cdot 365 \cdot L \cdot K_{річ} \cdot K_{доб}$$

Де c - кількість годин у змін c = 8.

$$\sum t = 8 \cdot 3 \cdot 365 \cdot 4 \cdot 0,75 \cdot 0,88 = 23126 \text{ год.}$$

$$t_{екв} = t_{\Sigma} \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_i}{T_H} \right)^3 \frac{t_i}{t_H} \quad t_{екв} =$$

$$23126(1^3 \cdot 0,4 + 0,7^3 \cdot 0,4 + 0,47^3 \cdot 0,2) = 12903 \text{ год.}$$

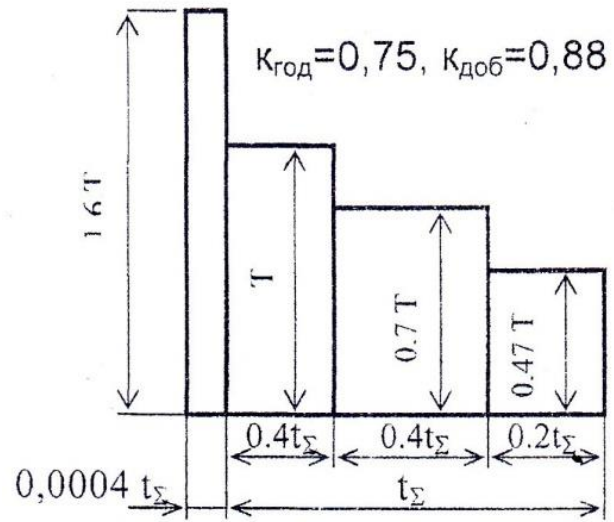


Рис.4.6 Графік навантаження на привід агрегату

4.2.7. Розрахунок циліндричної відкритої прямозубої передачі

Номинальна потужність, яка передається валом шестернею $N_3 = 1954$ Вт;

Частота обертання валу шестерні $n_3 = 45$ об/хв;

Передавальне число $u = 1.0$;

Крутний момент на валу шестерні $T_3 = 437$ Н·м.

Вибір матеріалу та призначення термооброблення.

Вибираємо для шестерні і для колеса Сталь 5 ;

Термооброблення – нормалізація.

Для шестерні розраховуємо:

$$\sigma_B = 600 \text{ МПа}; \sigma_T = 270 \text{ МПа}; 175 \text{ HB}_1;$$

Для колеса:

$$\sigma_B = 550 \text{ МПа}; \sigma_T = 260 \text{ МПа}; 165 \text{ HB}_2;$$

Допустимі напруження на згинання.

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F \text{ limb}}}{S_F} \cdot K_{FL} \cdot K_{FC} \cdot Y_S \cdot Y_R,$$

де $\sigma_{F \text{ limb}}$ — межа витривалості зубців на згинання, яка відповідає базовій кількості циклів зміни напружень :

$$\sigma_{F \text{ limb1}} = 1,8 \cdot \text{HB}_1 = 1,8 \cdot 175 = 315 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{F \text{ limb2}} = 1,8 \cdot \text{HB}_2 = 1,8 \cdot 165 = 297 \text{ МПа}$$

K_{FC} — коефіцієнт, який враховує характер прикладення навантаження: $K_{FC} = 0,65$;

K_{FL} — коефіцієнт довговічності:

$$K_{FL} = m_F \sqrt{\frac{N_{FO}}{N_{FE}}},$$

m_F — показник степеня кривої втомлюваності для коліс із твердістю поверхні зубців $\text{HB} < 350$ $m_F = 6$;

N_{FO} — базова кількість циклів зміни напружень:

$$N_{FO} = 4 \cdot 10^6$$

N_{FE} — еквівалентна кількість циклів навантаження зубців

передачі за термін служби:

$$N_{FE} = 60 \cdot n_3 \cdot t_{екв}$$

Де n — кількість обертів валу шестерні, $n_3 = 45$ об/хв;

$$N_{FE} = 60 \cdot n_3 \cdot t_{екв} = 60 \cdot 45 \cdot 12903 = 34.84 \cdot 10^6 \text{ циклів}$$

$N_{FE} > N_{FO}$, тому приймаємо коефіцієнт довговічності $K_{FL} = 1,0$;

S_F - коефіцієнт безпеки:

$$S_F = S'_F \cdot S''_F = 1,75 \cdot 1,5 = 2,625;$$

$$S'_F = 1,75;$$

$$S''_F = 1,5;$$

Y_S - коефіцієнт, який враховує чутливість матеріалу до концентрації напружень; $Y_S = 1$;

Y_R — коефіцієнт, який враховує жорсткість перехідних поверхонь зубців;

Допустимі напруження згинання для зубів шестерні та колеса :

$$[\sigma_{F1}] = \frac{315}{2,625} \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot 1 = 78 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_{F2}] = \frac{297}{2,625} \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot 1 = 74 \text{ МПа}$$

Допустимі граничні напруження згинання за максимальних навантажень:

$$[\sigma_F]_{\max} = \frac{\sigma_{F \lim M}}{S_{FM}} \cdot Y_S$$

$\sigma_{F \lim M}$ - граничне напруження, яке не залишає кінцевих деформацій або крихкого злому:

$$\sigma_{F \lim M1} = 4,8 \cdot HB = 4,8 \cdot 175 = 840 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{F \text{ lim}M2} = 4,8 \cdot HB = 4,8 \cdot 165 = 792 \text{ МПа};$$

S_F — коефіцієнт безпеки, $S_{FM} = 2.625$.

Y_S — коефіцієнт, що враховує чутливість матеріалу та концентрації напружень, $Y_S = 1$;

$$[\sigma_F]_{\text{max}} = \frac{840}{2.625} \cdot 1 = 320 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_F]_{\text{max}} = \frac{792}{2.625} \cdot 1 = 301.7 = 300 \text{ МПа}$$

Допустимі граничні контактні напруження за максимальних навантажень

визначаються за формулою:

$$[\sigma_{HM}] = 2,8 \cdot \sigma_T;$$

$$\sigma_{H \text{ max}1} = 2,8 \cdot \sigma_T = 2,8 \cdot 270 = 756 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{H \text{ max}2} = 2,8 \cdot \sigma_T = 2,8 \cdot 260 = 728 \text{ МПа};$$

Розраховуємо зуби на міцність на згинання:

Визначаємо величини, необхідні для розрахунку:

Наближена швидкість зубчастих коліс:

$$v = 0,0125 \cdot \sqrt[3]{N_3 \cdot n_3^2} = 0,0125 \cdot \sqrt[3]{1.954 \cdot 45^2} = 0.7 \text{ м/с}$$

За даної швидкості необхідний ступінь точності передачі – 9-й.

Коефіцієнт ширини зубчастого вінця за консольного розташування опор приймаємо: $\psi_d = 0,75 \cdot \psi_d^{\text{max}} = 0,75 \cdot 0,7 = 0,525$

Коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження між зубцями

$$K_{F\alpha} = 1,0$$

Коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження по ширині вінця:

$$K_{F\beta} = 1,35$$

Коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження:

$$K_{Fv} = 1,13$$

Приймаємо:

кількість зубів шестерні $z_1=22$, тоді кількість зубів колеса $z_2 = z_1 \cdot u = 22 \cdot 1 = 22$ шт.

Коефіцієнти, який враховують форму зубців шестерні і колеса:

$$Y_{F1} = Y_{F2} = 4,0$$

Коефіцієнт, який враховує вплив нахилу зуба на його напружений стан:

$$Y_{\beta} = 1$$

модуль зачеплення на початку:

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_3 \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv} \cdot \cos^2 \beta}{z_1^2 \cdot \psi_d \cdot [\sigma_{F1}]} \cdot Y_{F1} \cdot Y_{\beta}} =$$
$$= \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 437 \cdot 10^3 \cdot 1.13 \cdot 1.135 \cdot 1}{22^2 \cdot 0.525 \cdot 78}} \cdot 4,0 \cdot 1 = 2.3 \text{ мм}$$

Приймаємо $m = 5 \text{ мм}$ Міжосьова відстань $a=220 \text{ мм}$. Кількість зубців шестерні і колеса $z=44$ шт.

Ділильні діаметри колеса і шестерні:

$$d_{\omega 1} = d_{\omega 2} = m \cdot z_1 = 5 \cdot 44 = 220 \text{ мм}$$

$$v = \frac{\pi \cdot d_{\omega 1} \cdot n_3}{60000} = \frac{3,14 \cdot 220 \cdot 45}{60 \cdot 1000} = 0.51 \text{ м/с}$$

Ступінь точності передачі 9, він співпадає з раніше прийнятим.

Перевірка зубців на міцність на згинання під дією максимального навантаження.

$$\sigma_{F \max} = \sigma_F \cdot \frac{T_{\max}}{T_n} \leq [\sigma_{F \max}]$$

Розрахуємо напруження згинання в зубцях шестерні:

$$\sigma_{F1} = Y_{F1} \cdot Y_{\beta} \cdot \frac{W_{Ft}}{m},$$

$$\text{де } W_{Ft} = \frac{2 \cdot T_3}{d_{\omega 1} \cdot b_{\omega}} \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv} = \frac{2 \cdot 437 \cdot 10^3}{220 \cdot 80} \cdot 1 \cdot 1.35 \cdot 1.2 = 80.5 \text{ МПа}$$

$$b_{\omega} = \psi_d \cdot d_{\omega 1} = 0.525 \cdot 220 = 115.2 = 80 \text{ мм}$$

Приймаємо $b_{\omega 1} = 86 \text{ мм}$

$$\sigma_{F1} = 4 \cdot 1 \cdot \frac{80.5}{5} = 64.4 \text{ МПа} < [\sigma_{F1}] = 78 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \frac{Y_{F2}}{Y_{F1}} = 64.4 \text{ МПа} < [\sigma_{F2}] = 74 \text{ МПа}$$

Напруження згинання від максимального навантаження:

$$\sigma_{F1 \max} = 64.4 \cdot 2 = 129 \text{ МПа} < [\sigma_{F1}]_{\max} = 320 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{F2 \max} = 64.4 \cdot 2 = 129 \text{ МПа} < [\sigma_{F2}]_{\max} = 300 \text{ МПа}$$

Перевірка зубців на контактну міцність під дією максимального навантаження.

Розрахунок напруження від максимального навантаження:

$$\sigma_{H \max} = \sigma_H \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{Макс}}}{T_H}} \leq [\sigma_H]_{\max}$$

Контактне напруження від номінального навантаження:

$$\sigma_H = Z_H \cdot Z_M \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot T_3 \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\nu} \cdot u + 1}{b_\omega \cdot d_{\omega 1}^2 \cdot u}}$$

Коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження між зубцям

$$K_{H\alpha} = 1,0$$

Коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження по ширині вінця:

$$K_{H\beta} = 1,08$$

Коефіцієнт, який враховує динамічне навантаження:

$$K_{H\nu} = 1,06$$

Коефіцієнт, який враховує форму поверхонь спряження:

$$Z_H = 1,76 \cdot \cos \beta = 1,76 \cdot \cos 0^\circ = 1,76$$

Коефіцієнт, який враховує механічні властивості спряжених коліс:

$$Z_M = 275 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт, що враховує сумарну довжину контактних ліній:

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}}$$

$$\varepsilon_\alpha = \left[1,88 - 3,2 \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right] \cdot \cos \beta = \left[1,88 - 3,2 \left(\frac{1}{44} + \frac{1}{44} \right) \right] \cdot \cos 0^\circ = 1,73$$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,73}{3}} = 0,87$$

$$\sigma_H = 1,73 \cdot 275 \cdot 0,87 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 437 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 1,06}{80 \cdot 220^2} \cdot \frac{1+1}{1}} = 297 \text{ МПа}$$

Напруження від максимального навантаження:

$$\sigma_{H \max} = 297 \cdot \sqrt{1,6} = 380 \text{ МПа} < [\sigma_H]_{\max} = 728 \text{ МПа}$$

Приймаємо остаточні розміри передачі:

$m = 5 \text{ мм}$, $z_1 = 44$, $z_2 = 44$, $u = 1,0$, $b_{\omega 2} = 80 \text{ мм}$, $b_{\omega 1} = 86 \text{ мм}$

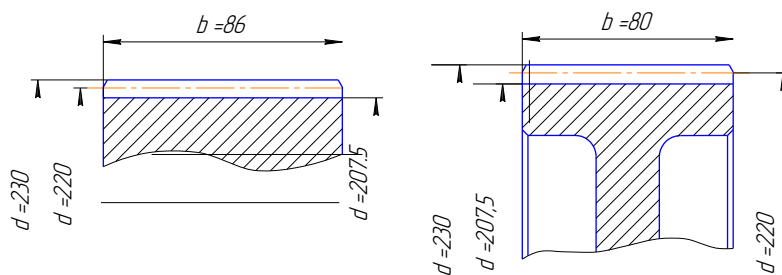


Рис. 4.6 Ескіз зубців прямозубої передачі

Кут нахилу зуба на діаметрі d	$\beta = 0^\circ$
Кут зачеплення в нормальному перерізі	$\alpha_\omega = \alpha = 20^\circ$
Кут зачеплення в торцьовому перерізі	$\alpha_{\alpha t} = \alpha = 20^\circ$
Міжосьова відстань	$\alpha_\omega = 0,5m \cdot (z_1 + z_2) = 0,5 \cdot 5 \cdot (44 + 44) = 220 \text{ мм}$

Ділильний і початковий діаметри:	
Шестерні	$d_1 = d_{o1} = m \cdot z_1 = 5 \cdot 44 = 220\text{мм}$
колеса	$d_2 = d_{o2} = m \cdot z_2 = 5 \cdot 44 = 220\text{мм}$
Діаметри вершин зубців:	
Шестерні	$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m = 220 + 2 \cdot 5 = 230\text{мм}$
колеса	$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m = 220 + 2 \cdot 5 = 230\text{мм}$
Діаметри западин:	
Шестерні	$d_{f1} = d_1 - 2,5 \cdot m = 220 - 2,5 \cdot 5 = 207,5\text{мм}$
колеса	$d_{f2} = d_2 - 2,5 \cdot m = 220 - 2,5 \cdot 5 = 207,5\text{мм}$

4.2.8 Розрахунок витрат енергії

Розрахунок баланса енерговитрат на першій ділянці

Для розрахунку приймаємо наступні технічні дані:

Кількість заходів шнеку.	a=1
Ширина шнеку, м	0,025
Товщина шнеку, м	$\delta=0,005$
Крок, м	s=0,040
Радіус шнеку, м	r ₁ =0,110
Радіус шнеку, м	r ₂ =0,04
Маса тіста в місильній камері, кг	200
Торцевий проміжок шнеку, м	f=0,005
Кут нахилу, град	a=70
Частота обертання, 1/с	n=0,75
Густина тіста, кг/м.	$\rho_m=1400$

Основні розрахункові рівняння.

$$A_1 = a_m * b * \Pi * \rho_m * n^2 * \cos(90 - \alpha) * (r_2^2 - r_1^2) \left((1 - k) * \Pi^2 * (r_1 - r_2)^2 + k * \frac{s^2}{2} \right)$$

$$A_2 = 0,75 * a * b * \delta * \rho_m * \Pi^2 * n^2 * (r_2^3 - r_1^3)$$

$$A_3 = 124 * a * \mu * n \left[\frac{(r_2^4 - r_1^4)}{2} + (2r_2^3 * b * \sin \alpha / f) \right]$$

$$A_4 = (0,05/01) * A_1$$

A₁ - робота, що витрачається на перемішування маси,

A₂ - робота, що витрачається на переміщення робочих витків,

A_3 - робота, що витрачається на нагрівання тіста,

A_4 - робота, що витрачається на зміну структури тіста

$$A_1 = 1 * 0,11 * 3,14 * 1400 * 0,75^2 * \cos(90 - 70) * (0,110^2 - 0,04^2) * [(1 - 0,15) * 3,14^2 * (0,110 - 0,04)^2 + 0,15 * 0,04^2 / 2] = 48 \text{ Дж}$$

$$A_2 = 0,75 * 1 * 0,11 * 0,005 * 1400 * 3,14^2 * 0,75^2 * (0,110^3 - 0,04^3) = 13,57 \text{ Дж}$$

$$A_3 = 124 * 1 * 20 * 0,75 * \left(\frac{0,110^4 - 0,04^4}{2} + \frac{2 * 0,110^3 * 0,11 * \sin 70}{0,005} \right) = 844,3 \text{ Дж}$$

$$A_4 = (0,05/0,1) * A_1 = (0,05/0,1) * 48 = 24 \text{ Дж}$$

$$A_{\text{заг}} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 48 + 13,57 + 844,3 + 24 = 929,87 \text{ Дж}$$

Розрахунок балансу енерговитрат на другій ділянці

Для розрахунку приймаємо наступні технічні дані:

Кількість заходів шнеку.	$a=1$
Ширина шнеку, м	0,025
Товщина шнеку, м	$\delta=0,005$
Крок, м	$s=0,02$
Радіус шнеку, м	$r_1=0,110$
Радіус шнеку, м	$r_2=0,04$
Маса тіста в місильній камері, кг	200
Торцевий проміжок шнеку, м	$f=0,005$
Кут нахилу, град	$\alpha=70$
Частота обертання, 1/с	$n=0,3$
Густина тіста, кг/м.	$\rho_m=900$

Основні розрахункові рівняння.

$$A_1 = a_m * b * \Pi * \rho_m * n^2 * \cos(90 - \alpha) * (r_2^2 - r_1^2) * ((1 - k) * \Pi^2 * (r_1 - r_2)^2 + k * \frac{s^2}{2})$$

$$A_2 = 0,75 * a * b * \delta * \rho_m * \Pi^2 * n^2 * (r_2^3 - r_1^3)$$

$$A_3=124*a*\mu *n[((r_2^4 - r_1^4)/2)+(2r_2^3*b*\sin\alpha/f)]$$

$$A_4=(0,05/01)*A_1$$

A_1 - робота, що витрачається на перемішування маси,

A_2 - робота, що витрачається на переміщення робочих витків,

A_3 - робота, що витрачається на нагрівання тіста,

A_4 - робота, що витрачається на зміну структури тіста.

$$A_1= 1*0,11*3,14*900*0,75^2*\cos(90 - 70)*(0,110^2 - 0,04^2) * [(1 - 0,15)*3,14^2*(0,110 - 0,04)^2 + 0,15*0,02^2 /2]= 30,8Дж$$

$$A_2=0,75*1*0,11*0,005*900*3,14^2*0,75^2*(0,110^3 - 0,04^3)= 8,58Дж$$

$$A_3=124*1*20*0.75*\left(\frac{0.110^4-0.04^4}{2} + \frac{2*0.110^3*0.11*\sin70}{0.005}\right) = 844,3Дж$$

$$A_4=(0,05/0,1)*A_1=(0,05/0,1)*30,8= 15,4Дж$$

$$A_{заг} = A_1+A_2+A_3+A_4=30,8+8,58+844,3+15,4= 899,08Дж$$

$$A_{сум} = A_{заг1} ++ A_{заг2} = 929,87 + 899,08 = 1821,95Дж$$

Виразимо складові балансу у відсотках:

$$A_{заг1} =100\%, A_1= 5,16\%, A_2= 1,46\%, A_3= 90,82\%, A_4= 2,58\%.$$

$$A_{заг2}=100\%, A_1=3,43 \%, A_2= 0,95\%, A_3=93,90 \%, A_4=1,71 \%.$$

Розрахунок потужності ,що потрібна для приводу тістомісильної машини знаходимо за формулою:

$$P=A_n/\eta\eta_2$$

Де A - робота на даний вид процесу,

n - частота обертання місильного валу,

T_3 - час замісу тіста, с,

m_t - маса тіста в місильній камері.

$$P=1244*0,788/0,93*0,89=2,2 \text{ кВт.}$$

Питому роботу замісу тіста знаходимо за формулою:

$$A_{\text{пит}} = A n \tau_3 / m_T = 1244 * 0,788 * 693 / 249 = 13516 \text{ Дж}$$

Інтенсивність замісу визначаємо за формулою:

$$A_{\text{пит}} = U_{\tau} \rightarrow U = A_{\text{пит}} / \tau = 13516 / 693 = 21,09 \text{ Дж}$$

4.3 Підбір конструкційних матеріалів

Нержавіюча харчова сталь використовується при виробництві гомогенізаторів. Трубопровід виготовлений зі скла, харчового пластику або харчової гуми. Все обладнання очищається холодною і гарячою водою з використанням лугу і кислоти. Тому, жовтень, на додаток до вищесказаного, матеріал повинен бути стійкий до корозії в цих розчинах..

Основні компоненти гомогенізатора, такі як корпус, кришка, основа та кільце з гайкою, виготовлені з кованої або штампованої нержавіючої сталі. На лівій стороні затискного кільця є різьба, тому гвинт не можна послабити.

Після ретельного аналізу середовища, в якій працює клапан, і обліку всіх факторів, що впливають на його ефективність, з'ясувалося, що оптимальним варіантом для виготовлення цієї деталі є легована сталь, зокрема сталь 12X18H9T ГОСТ5632-72.

Деталі з легової сталі характеризуються відмінною стійкістю до зовнішніх впливів, що викликають концентрацію напружень при циклічних навантаженнях. 1. Одним з важливих структурних переваг легової сталі є прийнятне співвідношення межі текучості і міцності на розтяг.

Інші марки стали не володіють необхідними властивостями, тому їх використання недоцільно.

Після завершення необхідних аналізів можна зробити висновок, що конструкційна сталь марки 12X18H9T ГОСТ5632-72 є найбільш підходящим матеріалом для виготовлення клапанів.

4.4Монтаж, ремонт та експлуатація

4.4.1Монтаж ЗБФА

Процес монтажу установки для змішаного бродіння складається з установки на фундамент (або без фундаменту) і мотор-редуктора. Установка для формування методом змішаної ферментації (MFMU) поставляється на підприємство в зібраному вигляді для монтажу. Він встановлюється на заздалегідь підготовлений фундамент і кріпиться до анкерних болтів за допомогою гайок і шайб.

Перед запуском машини необхідно перевірити міцність мотор-редуктора, робочого органу і підшипників, змастити всі необхідні елементи машини, встановити і надійно закріпити захисний кожух приводу і перевірити натяг приводного механізму місильного органу, короткочасно натиснути кнопку "Пуск" і дати машині попрацювати на холостому ходу. Увімкнути машину. Під час роботи машини не повинно бути стуку, вібрації або інших небажаних шумів. Підключивши мотор-редуктор, перевірте напрямок обертання робочого органу. Потім машину слід ненадовго запустити і дати їй попрацювати без навантаження протягом 2-3 годин при нормальному режимі роботи. Після пробного запуску та усунення всіх виявлених несправностей машину необхідно знову запустити.

4.4.2 Експлуатація ЗБФА

Правила технічної експлуатації СВЯП для забезпечення зовнішніх умов (придатність установки: чистота, температура, вологість, чистота повітря тощо). Правила експлуатації ССВЯП:

- Підтримувати сприятливі умови на робочому місці;
- Утримувати обладнання в чистоті та своєчасно забезпечувати достатнє змащування деталей, що потребують змащування;
- дотримуватися режиму роботи механізму машини (силового, швидкісного, теплового тощо) відповідно до паспорта обладнання;
- дотримуватися правил управління машиною (пуск, робота і зупинка);
- виконання заходів, передбачених системою регулярного планово-попереджувального обслуговування і ремонту обладнання.

Управління технічним станом обладнання здійснює відділ головного механіка, який контролює умови експлуатації та готує пропозиції і технічну документацію щодо поліпшення стану обладнання. Інспекційна служба відділу залишає за собою право зупинити машину або агрегат у разі незадовільного стану, неправильної експлуатації або порушення графіку планово-попереджувальних ремонтів.

Оператори повинні знати конструкцію і взаємодію основних механізмів агрегату, вміти їх регулювати, підтримувати робочу зону в сприятливому стані і виконувати дрібний ремонт. Технічний стан ПРК забезпечується знанням і застосуванням оператором правил експлуатації установки. Технічне обслуговування установки дуже важливе для підтримання її продуктивності. Належне технічне обслуговування може значно продовжити термін служби установки до наступного ремонту. На початку експлуатації обслуговуючий персонал повинен візуально оглянути агрегат для перевірки його робочого стану, а також перевірити точки змащення і наявність мастила в них. При виявленні будь-яких пошкоджень або несправностей оператор повинен повідомити про це свого керівника. Протягом робочої зміни

необхідно змащувати візок мастилом, зазначеним в інструкції з експлуатації, відповідно до таблиці змащення машини. Якщо використовується централізоване змащення, слідкуйте за тим, щоб масляний резервуар завжди був заповнений мастилом.

4.4.3 Ремонт ЗБФА

Під час технічного обслуговування LBFA слід контролювати роботу пристрою. Необхідно контролювати температуру підшипників. Якщо під час роботи механізму виникають сторонні шуми, необхідно зупинити агрегат і виконати необхідні регулювання. При незначних пошкодженнях, які не призводять до простою, слід замінити пошкоджені деталі. Технічне обслуговування і ремонт складаються з низки завдань, спрямованих на підтримку працездатності і справності при використанні обладнання за призначенням. Технічне обслуговування обладнання під час використання за призначенням здійснюється відповідно до інструкції з експлуатації, підготовленої виробником. Комплекс завдань, пов'язаних з ремонтом і технічним обслуговуванням ЗЗРМ в експлуатації, включає в себе планові технічні огляди і ремонт у разі виникнення несправності. Технічне обслуговування включає дотримання правил запуску, пуску і зупинки обладнання, своєчасне змащування окремих вузлів і деталей, підтримання належних санітарних умов на робочому місці. На кожному робочому місці повинна бути інструкція з технічного огляду машини. Технічне обслуговування здійснюється оператором, який безпосередньо обслуговує машину. Технічне обслуговування здійснюється ремонтною бригадою, що складається з чергових механіків і електриків. Технічне обслуговування включає в себе роботи, які унеможливають нормальну експлуатацію під час поточного ремонту. Сюди входить регулювання різних механізмів, обслуговування клапанів і затягування гвинтів. Більшість цих робіт виконуються відповідно до інструкції з експлуатації та за необхідності. Якісне технічне обслуговування і регулярний контроль за роботою обладнання зменшує кількість позапланових ремонтів.

Ремонт ЗВТ включає наступні завдання: очищення, демонтаж, миття, сортування, ремонт і відновлення деталей і вузлів, комплектація запасними частинами, складання, введення в експлуатацію і т.д. Підготовчі та супутні

завдання: логістика, забезпечення роботи верстатів та іншого обладнання, транспортування відремонтованих об'єктів. Перед будь-яким ремонтом об'єкт CSPA повинен бути оглянутий і виявлені всі дефекти. Дефекти виявляються під час огляду та на основі аналізу записів у журналах ремонтника і техніка. Перед початком ремонту готуються необхідні деталі та інструменти. Демонтаж агрегату дозволяється проводити після виконання наступних попередніх операцій відключення агрегату від електромережі та мережі технічного зв'язку, демонтажу приводу, від'єднання муфти вала електродвигуна, змащення системи змащення з бачка. На силовому щиті вивіщується попередження: "Не відкривати - працюють люди". Основні правила демонтажу агрегату:

- Демонтуйте тільки той вузол або механізм, який підлягає ремонту (повний демонтаж можливий тільки при капітальному ремонті);

- Перед початком демонтажу ознайомтеся з технічним паспортом, кресленнями основних компонентів і кінематичними кресленнями, щоб визначити порядок розбирання. Перед початком демонтажу ознайомтеся з технічним паспортом, кресленнями основних компонентів і кінематичними кресленнями, щоб визначити порядок демонтажу. План демонтажу повинен бути підготовлений заздалегідь з використанням послідовного або паралельно-послідовного методів;

- Виявити несправності під час розбирання і підготувати список несправностей;

- Спочатку зніміть кришки, люки та захисні екрани, щоб отримати доступ до вузла, який підлягає демонтажу;

- При демонтажі декількох вузлів складайте окремі частини і використовуйте підйомні механізми для зняття великих деталей або вузлів;

- Для полегшення демонтажу деталей, що сполучаються, необхідно використовувати спеціальне обладнання, інструменти, спеціальні механізми та знімачі.

5.Охорона праці

1. Загальні положення з охорони праці

Враховуючи специфіку процесу змішування, ферментації тіста та роботи змішувально-бродильно-формуального агрегату, необхідно забезпечити:

- Відповідність умов праці державним нормам і стандартам (ДСТУ, СНіП, ГОСТ).

- Дотримання вимог безпеки при експлуатації технологічного обладнання.

- Проведення інструктажів з охорони праці для працівників.

2. Ідентифікація небезпечних та шкідливих факторів

Під час роботи обладнання можуть виникати:

- Фізичні небезпеки: рухомі частини механізмів, висока температура, електричний струм.

- Хімічні впливи: можливий контакт з мийними засобами та компонентами тіста (алергени).

- Фактори мікроклімату: підвищена вологість, температура повітря.

- Фактори шуму та вібрації: робота двигунів, редукторів та інших елементів агрегату.

3. Вимоги до виробничого приміщення

- Оснащення приміщення вентиляційною системою для видалення надмірної вологості та забезпечення комфортного мікроклімату.

- Використання освітлення (не менше 300 лк), що відповідає нормам для харчових виробництв.

- Антиковзке покриття підлоги.

- Забезпечення санітарно-гігієнічних умов (мийні зони, доступ до питної води).

4. Безпека експлуатації змішувально-бродильно-формуального агрегату

- Захист від рухомих частин: Обладнання має бути оснащене кожухами на валах, зубчастих передачах, змішувальних органах.
- Електробезпека: Заземлення, автоматичне відключення обладнання у разі перевантаження або короткого замикання.
- Аварійна зупинка: Наявність кнопки екстреної зупинки агрегату в зоні доступу оператора.
- Контроль температури та тиску: Використання датчиків, які сигналізують про перевищення допустимих параметрів.

5. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Для працівників, що обслуговують обладнання:

- Спеціальний одяг (фартухи, рукавички, халати).
- Захисні окуляри під час роботи з мийними засобами.
- Навушники або беруші для зниження впливу шуму.

6. Пожежна безпека

- У приміщенні має бути встановлена система пожежної сигналізації та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники, пожежні щити).
- Заборона куріння та використання відкритого вогню.
- Використання негорючих матеріалів у конструкції обладнання та приміщення.

7. Екологічна безпека

- Утилізація харчових відходів згідно з санітарними нормами.
- Використання екологічно безпечних мийних засобів.
- Зменшення впливу на навколишнє середовище шляхом оптимізації споживання води та електроенергії.

8. План евакуації

- Розроблення та розміщення плану евакуації у видимих місцях.
- Регулярні навчання персоналу щодо дій у разі аварійних ситуацій.

6. Охорона довкілля

1. Загальні положення

Виробництво сухарних виробів пов'язане з використанням природних ресурсів та утворенням відходів. Метою охорони довкілля є мінімізація негативного впливу виробничих процесів на навколишнє середовище шляхом упровадження ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологій.

2. Можливі впливи на навколишнє середовище

Потенційні джерела впливу:

1. Викиди в атмосферу:

- Виділення парів вологи, пилу борошна, дрібних частинок тіста під час змішування та формування.

- Викиди вуглекислого газу (CO₂) під час бродіння.

2. Відходи виробництва:

- Відходи борошна, тіста та готових виробів, які не відповідають вимогам якості.

- Мийні води з залишками жирових речовин, мийних засобів та органічних речовин.

3. Споживання енергоресурсів:

- Електроенергія для роботи агрегату.

- Вода для приготування тіста, миття обладнання та підтримки санітарних норм.

4. Шумове забруднення:

- Шум від роботи змішувальних механізмів та насосів.

3. Екологічні заходи

Атмосферне повітря

- Використання системи локальної вентиляції та пиловловлювачів для зменшення викидів пилу.

- Герметизація змішувальних та ферментативних камер, щоб запобігти утворенню зайвих викидів.

- Моніторинг викидів CO₂ у процесі бродіння.

Управління відходами

- Організація роздільного збирання та утилізації органічних відходів.

- Використання харчових відходів як вторинної сировини для кормів або компосту.

- Очищення мийних вод перед скиданням у каналізацію шляхом застосування фільтрувальних систем.

Енергозбереження

- Встановлення енергоефективного обладнання з низьким споживанням електроенергії.

- Використання автоматичних систем контролю для оптимізації роботи агрегатів.

- Перехід на альтернативні джерела енергії (наприклад, сонячні панелі для живлення окремих вузлів).

Водозбереження

- Використання замкненого циклу водопостачання для мийки обладнання.

- Скорочення витрат води завдяки впровадженню водозберігаючих технологій.

Шумозахист

- Установка шумопоглинальних кожухів на обладнання.

- Використання матеріалів для звукоізоляції приміщення.

- Забезпечення дотримання допустимого рівня шуму відповідно до норм ДСТУ.

4. Контроль та моніторинг

- Регулярний екологічний аудит підприємства для виявлення та усунення джерел негативного впливу.

- Встановлення приладів контролю за викидами, відходами та споживанням ресурсів.

- Ведення екологічної документації відповідно до чинного законодавства.

5. Економічні аспекти охорони довкілля

- Впровадження екологічних заходів дозволить зменшити витрати на ресурси, штрафи за порушення екологічних норм та поліпшити імідж підприємства.

- Вторинна переробка відходів може стати додатковим джерелом доходів.

Висновки

Основні наукові результати:

Проведений літературний огляд наукових праць свідчить, що процеси, які відбуваються під час замішування житньо-пшеничного тіста вивчені недостатньо, не відображені енергозатрати процесу та зміна реологічних характеристик. Не виконувалися і дослідження процесу екструдуювання житньо-пшеничного тіста

Нами проведені експериментальні дослідження процесу замішування, ферментації та оброблення житньо-пшеничного тіста, в результаті яких встановлено:

✓ енергоспоживання під час замішування житньо-пшеничного тіста відрізняється від пшеничного, хоч і можемо виділити три стадії. Однак після закінчення другої стадії витрати енергії різко знижуються і практично є постійними. Власне третя стадія для такого тіста не є обов'язковою.

✓ екструдуювання газонаповненого житньо-пшеничного тіста з достатньою швидкістю може відбуватися за значно менших значень тиску (0.1МПа)

✓ Коефіцієнт розширення житньо-пшеничного тіста при екструзії складає 1,8–2,2. Цей показник відповідає пористості, яка забезпечує хорошу текстуру та органолептичні властивості готової продукції.

✓ Для житньо-пшеничного тіста була отримана крива течії, яка демонструє нелінійну залежність напруження зсуву від швидкості зсуву. Тісто має реологічні властивості неньютонівської рідини, $\tau_{zc} = k \cdot \gamma_{zc}^n$

k і n є параметрами, що залежать від складу тіста та умов замішування. За результатами експерименту значення параметрів k та n були визначені для житньо-пшеничного тіста в умовах стандартного замішування.

Розроблена конструкція змішувальнобродильноформуального агрегату: продуктивністю (80 кг/год), здатна забезпечити ефективне та стабільне змішування, ферментацію та оброблення тіста.

Агрегат дозволяє скоротити час на ферментацію та оброблення тіста, створити повністю механізовану та автоматизовану лінію, зменшити кількість обланання та витрати енергії, знизити трудові затрати, що сприяє зростанню продуктивності і зниженню собівартості продукції.

Список використаної літератури

1. Іванов І. І. Технологія хлібопекарського виробництва. — Київ: Вища школа, 2020. — 220 с.
2. Петрова Н. О. Технологія замішування тіста та виробництво хлібобулочних виробів. — Харків: ХНТУ, 2021. — 280 с.
3. Федорова М. М. Хлібопекарська справа: теорія та практика. — Одеса: ОДУ, 2019. — 350 с.
4. Литвиненко О. В. Технологічні процеси в хлібопекарному виробництві. — Львів: ЛДТУ, 2018. — 400 с.
5. Литвиненко О. В. Інноваційні методи замішування та обробки тіста. — Львів: ЛДТУ, 2018. — 300 с.
6. Бондаренко А. В. Сучасні методи швидкого замішування та ферментації тіста. — Київ: НТУ, 2022. — 270 с.
7. Карпенко Ю. В. Технічне оснащення виробництва хлібобулочних виробів. — Харків: ХПІ, 2020. — 350 с.
8. Савченко Т. І. Холодна ферментація в хлібопеченні: теорія та практика. — Київ: ХНТУ, 2021. — 220 с.
9. Іванова Л. М. Тепла ферментація і її вплив на хлібопекарські вироби. — Дніпро: ДНТУ, 2022. — 310 с.
10. Чорна Л. А. Багатоступенева ферментація: досвід та перспективи. — Одеса: ОДУ, 2023. — 250 с.
11. Сидоренко В. В. Безперервне бродіння в хлібопекарному виробництві. — Львів: ЛНУ, 2020. — 200 с.
12. Демидова О. С. Автоматизація процесів замішування та ферментації. — Київ: НТУ, 2021. — 230 с.
13. Бондаренко А. В. Сучасні методи швидкого замішування та ферментації тіста. — Київ: НТУ, 2022. — 270 с.
14. Сидоренко І. В. Фізико-хімічні властивості борошна та їх вплив на якість хлібобулочних виробів. — Львів: ЛДУ, 2021. — 310 с.
15. Шевченко О. А. Вологість та кислотність в технології хлібопечення. — Київ: НТУ, 2020. — 240 с.
16. Тараненко В. М. Механічні властивості та бродильні процеси в житньо-пшеничному тісті. — Харків: ХПІ, 2022. — 280 с.
17. Ковальчук Л. П. Температурний режим у виробництві житньо-пшеничного тіста. — Одеса: ОДУ, 2020. — 200 с.
18. Дмитрієв В. П. Еластичність та в'язкість тіста: вплив на виробництво хлібобулочних виробів. — Чернівці: ЧНУ, 2021. — 230 с.
19. Гавриленко Т. І. Ферментація житньо-пшеничного тіста: процеси і технології. — Дніпро: ДНТУ, 2022. — 260 с.
20. Литвиненко, О. В., & Петрова, М. І. (2020). Технологія екструзії в харчовій промисловості. Журнал харчових технологій, 15(3), 45–59
21. Василенко Н. П., Дорошенко С. І. Підготовка сировини для екструзії // Техн. процеси харчової промисловості. — Київ: ТехноПром, 2019. — № 11(2). — С. 102–113.
22. Куриленко О. П. Особливості процесу замішування та формування тіста // Хлібопекарна справа. — Харків: ХлібТех, 2021. — № 9(4). — С. 34–48.
23. Коваленко С. А. Нагрівання та пастеризація в екструзії // Технологія переробки сировини. — Львів: ПромТех, 2018. — № 22(1). — С. 89–95.

24. Костенко М. Л., Остроменко І. М. Технологічні аспекти формування виробів з тіста // Харчова промисловість. — Одеса: ТехноСервіс, 2022. — № 14(2). — С. 67–73.
25. Писаренко О. А., Мельник Т. О. Охолодження продуктів після екструзії // Інновації в харчовій промисловості. — Київ: Інноватика, 2020. — № 10(5). — С. 15–27.
26. Шевченко Л. В. Денатурація білків під час екструзії // Фізико-хімія харчових продуктів. — Черкаси: ТехноПрес, 2019. — № 8(3). — С. 118–125.
27. Ларіна Н. В. Желатинізація крохмалю в процесах екструзії // Техн. інженерія та інновації. — Харків: ІнжТех, 2021. — № 3(1). — С. 102–108.
28. Яковенко І. С. Взаємодія компонентів при екструзії // Біохімія харчових технологій. — Київ: ХімТех, 2020. — № 5(4). — С. 77–82.
29. Романенко П. В., Березина Ю. І. Продуктивність екструзійних процесів // Технологія харчових продуктів. — Львів: Технолог, 2022. — № 12(6). — С. 56–64.
30. Тищенко О. С. Енергоефективність екструзії // Енергозбереження в харчовій промисловості. — Одеса: Енергетика, 2021. — № 13(2). — С. 85–91.
31. Хоменко Т. М., Жукова І. І. Універсальність екструдерів // Машина та обладнання харчових виробництв. — Черкаси: Технаука, 2019. — № 9(3). — С. 45–52.
32. Грек А. В. Екструзія як метод виготовлення харчових виробів // Технологія та інновації. — Київ: Промтех, 2020. — № 14(4). — С. 102–109.
33. Сидоренко І. В. Механічні аспекти процесу замішування тіста // Техн. процеси в харчовій промисловості. — Харків: Інжиніринг, 2020. — № 18(2). — С. 23–30.
34. Литвиненко О. В. Ротаційний рух в змішувачах для тіста // Журнал хлібопекарних технологій. — Львів: Техноліт, 2021. — № 22(1). — С. 45–50.
35. Куриленко О. П. Поступальний рух під час замішування // Техн. інженерія в харчовій промисловості. — Київ: ТехноІнженерія, 2019. — № 15(3). — С. 12–17.
36. Василенко Н. П. Стиснення та розтягування під час замішування тіста // Хлібопекарна справа. — Одеса: ХлібПек, 2022. — № 8(4). — С. 56–60.
37. Романенко П. В., Березина Ю. І. Енергетичні аспекти замішування тіста // Технології в харчовій промисловості. — Харків: ТехноПродукти, 2021. — № 11(6). — С. 44–51.
38. Коваленко С. А. В'язкість та еластичність тіста // Харчові технології. — Львів: Технолог, 2019. — № 9(2). — С. 102–110.
39. Шевченко Л. В. Температурні ефекти під час замішування тіста // Фізико-хімія харчових продуктів. — Київ: ХімТех, 2020. — № 6(5). — С. 89–95.
40. Писаренко О. А., Мельник Т. О. Спіральні змішувачі для тіста // Механіка харчових технологій. — Одеса: МехТех, 2021. — № 12(3). — С. 57–62.
41. Яковенко І. С. Планетарні змішувачі та їх вплив на структуру тіста // Журнал харчової інженерії. — Київ: Інженер, 2022. — № 14(1). — С. 22–29.
42. Ларіна Н. В. Циклонні змішувачі для виробництва тіста // Машина для харчових виробництв. — Харків: ТехноПром, 2020. — № 17(3). — С. 78–85.
43. Тищенко О. С. Еластичність та текстура тіста після замішування // Техн. аспекти хлібопекарства. — Одеса: ХлібПек, 2021. — № 23(1). — С. 34–40.
44. Бондаренко В. І. Гомогенність тіста при перемішуванні // Процеси та технології в харчовій промисловості. — Львів: Техніка, 2019. — № 15(2). — С. 18–24.
45. Білан Л. А. Газоутворення під час замішування // Хлібопекарня ХХІ століття. — Київ: Харчова промисловість, 2021. — № 16(4). — С. 77–82.
46. Довгий В. І. Оптимізація параметрів замішування тіста для хлібобулочних виробів // Техн. інженерія та технології. — Харків: ПрофІт, 2022. — № 10(5). — С. 101–106.
47. Гончарук П. В. Особливості замісу житньо-пшеничного тіста // Технології хлібопекарства. — Черкаси: Технолог, 2020. — № 12(3). — С. 45–52.
48. Кравченко О. І. Вимоги до сучасних тістомісильних машин // Інженерія харчових технологій. — Київ: ІнженерПром, 2021. — № 9(2). — С. 34–41.

49. Літвінова Н. В. Історія впровадження машин безперервної дії // Хлібопекарська справа. — Одеса: ТехноТех, 2019. — № 17(4). — С. 23–28.
50. Бондаренко С. О. Розробки сучасних тістомісильних машин // Машини для харчових виробництв. — Львів: Техніка, 2022. — № 8(5). — С. 60–66.
51. Лещенко В. П. Огляд тістомісильної машини Х-12 // Технічна інженерія в хлібопекарстві. — Черкаси: ХлібТех, 2020. — № 14(1). — С. 78–83.
52. Таран М. О. Конструктивні елементи машин для замісу тіста // Харчова техніка. — Київ: Технопринт, 2021. — № 11(3). — С. 49–55.
53. Іваненко Ю. С. Автоматизація подачі борошна в тістомісильні машини // Технічні системи харчової промисловості. — Харків: Агротех, 2019. — № 15(6). — С. 92–98.
54. Гончарук П. В. Технологічні аспекти конструкції машин безперервної дії // Харчова промисловість України. — Львів: Харчова промисловість, 2020. — № 18(2). — С. 45–50.
55. Литвиненко О. М. Модернізація тістомісильних машин // Інженерія технологій. — Київ: ТехноСервіс, 2019. — № 7(1). — С. 23–28.
56. Таран Н. В. Ефективність тістомісильних систем // Наукові основи харчових технологій. — Харків: Інтеграція, 2021. — № 9(3). — С. 60–65.
57. Кравченко Ю. В. Особливості роботи тихохідних машин // Хлібопекарські машини. — Одеса: ТехноПром, 2022. — № 10(4). — С. 49–54.
58. Бондар С. О. Огляд конструкцій тістомісильних машин А2-ХТТ // Технічна механіка харчової промисловості. — Львів: Механіка, 2020. — № 11(2). — С. 90–96.
59. Іваненко В. П. Системи змішування Readco // Машини для харчових виробництв. — Київ: Промтех, 2021. — № 14(1). — С. 78–85.
60. Коваль П. С. Використання автоматизованих систем у замісі тіста // Технології хлібопекарства. — Харків: ХлібТех, 2022. — № 19(3). — С. 83–90.
61. Ткаченко, О. І. (2019). Інновації в хлібопекарському обладнанні. Промислова техніка, 15(5), 92-98. Київ: ТехноПрес.
62. Лещенко, В. М. (2022). Тістомісильні комплекси Leading Bakery Systems. Нові технології в харчовій індустрії, 18(2), 40-47. Харків: ХлібТех.
63. Дрозд, Ю. М. (2021). Безперервний процес замісу тіста. Інженерія харчових систем, 12(4), 65-73. Львів: Техноліт.
64. Лаптева, Н., Соловйов, А. та ін. (2019). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodeng.2019.08.004>.
65. Іванова, О., Мартинова, Л. (2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodeng.2020.04.024>.
66. Шишкін, І., Соловйов, Д. (2021). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodbio.2020.101174>.
67. Кузнецова, Т., Єрмолова, Л. (2022). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodeng.2022.101537>.
68. Іванов, І. І. (2021). Технологія хлібобулочних виробів. Київ: ТехноПрес, 220 с.
69. Петров, П. П. (2020). Машини для переробки тіста. Харків: ХлібТех, 180 с.
70. Сидоренко, О. О. (2022). Інновації в хлібопекарській промисловості. Львів: Техноліт, 250 с.

Додатки

Додаток А

№ П п	Трива лість бродін ня, хв	Трива лість пресув ання, с	Діапе тр загот овки, мм	Маса загот овки довж иною 150 мм, кг	Серед ня швид кість поток у, м/с	Масова продук тивність, кг/с	Об'ємна продук тивність, м ³ /с	Вмі ст газ ової фаз и, %
1	0	22,67	16,1	0,027	0,0066 16674	0,0011910 01	1,32333E- 06	0
2	10	18,81	16,7	0,024	0,0079 74482	0,0012759 17	1,5949E- 06	0,1
3	20	7,96	16,3	0,023	0,0188 44221	0,0028894 47	3,76884E- 06	0,15
4	30	6,6	16,35	0,022	0,0227 27273	0,0033333 33	4,54545E- 06	0,19
5	40	5,61	16,4	0,025	0,0267 37968	0,0044563 28	5,34759E- 06	0,07 4

№ П п	Трив аліст ь пресу ванн я, с	Діапе тр загот овки, мм	Маса заготовк и довжино ю 150 мм, кг	Масова продук тивність, кг/с	Об'ємн а продук тивніст ь, м ³ /с	Напру ження зсуву	Швидк ість зсуву	Ефек тивн а в'язк ість
1	15,78	15	0,022	0,001394 17	1,71103 E-06	0,001	39,8089 172	0,396 3936
2	11,3	15,4	0,023	0,002035 398	2,47788 E-06	0,0015 4	41,2833 2154	0,273 71828 6
3	6,13	15	0,022	0,003588 907	4,40457 E-06	0,002	39,8089 172	0,153 9856
4	5,07	16,4	0,023	0,004536 489	6,31164 E-06	0,0027 33333	47,1809 389	0,107 45865
5	7,48	16,7	0,024	0,003208 556	4,41176 E-06	0,0033 4	48,6553 4324	0,153 7344
6	4,63	17	0,026	0,005615 551	7,34341 E-06	0,0045 33333	50,1297 4758	0,092 36032 9
7	3,94	16,3	0,027	0,006852 792	7,86802 E-06	0,0054 33333	45,7065 3456	0,086 20211 6

8	2,62	16,35	0,027	0,010305 344	1,18321 E-05	0,0065 4	45,7065 3456	0,057 32221 9
9	2,27	16,3	0,03	0,013215 859	1,36564 E-05	0,0081 5	45,7065 3456	0,049 66467 1
10	1,34	17	0,029	0,021641 791	2,53731 E-05	0,0102	50,1297 4758	0,026 73063 5