

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого

Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва)

Освітня програма «Інжиніринг харчових виробництв»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАХФВ

Олександр ГАВВА

(власне ім'я і ПРИЗВИЩЕ)

«____» _____ 2024_ року

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Талалая Владислава Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження процесу екструдкування через щілинний канал та розроблення змішувально-бродильноформуального агрегату продуктивністю 85 кг/год

керівник роботи Теличкун Юлія Станіславівна, доц., к.т.н

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «1» жовтня 2024 р. № 860-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 02.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи

1. Технічний паспорт обладнання.

2. Альбом галузевого обладнання. 3. Навчальна, наукова та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): анотація, зміст; вступ, Аналіз процесу замішування та оброблення тіста та огляд сучасного обладнання для виробництва плоских виробів (галет) Методика досліджень та опис експериментальних установок Дослідження процесів замішування та екструдкування галет Практичне впровадження результатів досліджень Охорона праці, Охорона довкілля. ВИСНОВКИ СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Загальний вигляд обладнання – 1 аркуш; Розрізи – 1 аркуш; Гільйотинний механізм – 1 аркуш., Робочий орган – 1 аркуш

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 05.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Анотація, зміст;</i>	10.09.2024	виконано
2	Аналіз процесу замішування та оброблення тіста та огляд сучасного обладнання для виробництва плоских виробів (галет)	01.10.2024	виконано
3	Методика досліджень та опис експериментальних установок.	05.10.2024	виконано
	Дослідження процесів замішування та екструдкування галет	20.10.2024	виконано
5	Практичне застосування результатів досліджень	29.10.2024	виконано
6	Охорона праці	23.10.2024	виконано
7	Охорона довкілля	25.10.2024	виконано
8	<i>Висновки,</i>	28.10.2024	виконано
9	<i>Графічна частина</i>	30.11.2024	виконано
10	<i>Подача ДП на кафедру</i>	02.12.2024	виконано

Здобувач

_____ (підпис)

Владислав ТАЛАЛАЙ

(власне ім'я і ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Юлія ТЕЛИЧКУН

(власне ім'я і ПРІЗВИЩЕ)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	5
ВСТУП.....	7
1. Аналіз процесу замішування та оброблення тіста та огляд сучасного обладнання для виробництва пласких виробів (галет).....	8
1.1 Процес замішування, теорія та стадії процесу	8
1.2. Оброблення тістових заготовок із пшеничного тіста	16
1.3 Сучасні конструкції тістомісильних машин безперервної дії, які використовуються в Україні та за кордоном.....	17
1.4. Екструзія – високоефективний метод формування харчових продуктів. Застосування екструзії в хлібопекарській промисловості	24
1.5 Особливості поведінки газонаповнених в'язко-пружних матеріалів.....	27
1.6. Особливості впливу реологічних характеристик на процес екструзії в'язкопружних середовищ	29
2. Методика досліджень та опис експериментальних установок.....	33
2.1. Об'єкт досліджень.....	33
2.2. Опис експериментальних установок.....	33
2.3. Методика проведення експериментальних досліджень процесу екструдкування дріжджового пшеничного тіста	35
3. Дослідження процесів замішування та екструдкування галет.....	36
3.1. Дослідження витрат енергії під час замішування пшеничного тіста...	36
3.2. Дослідження процесу екструдкування газонаповненого тіста через щілинний канал	39
3.3. Дослідження якості готового продукту, отриманого екструдкуванням через щілинний канал.....	43
4. Практичне впровадження результатів досліджень.....	47
4.1. Техніко-економічне та соціальне обґрунтування проекту	47

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Телічкун Ю.С	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Талалай В.С	<i>Назва, додаткова назва</i> Зміст	23-1518.MP.05.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 3/96

4.2. Будова та принцип дії агрегату, що розробляється	49
4.3. Розрахункова частина	52
4.4. Підбір конструкційних матеріалів	76
4.5. Монтаж, ремонт та експлуатація обладнання	78
5. Охорона праці	83
6. Охорона довкілля	90
ВИСНОВКИ.....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	97
ДОДАТКИ	

Анотація

Літературний огляд виявив, що виробництво плоских виробів із дріжджового тіста пов'язано складністю проведення процесів оброблення, необхідністю використання різноманітного, різного за призначенням та обслуговуванням обладнання, крім того, низьке подозавантаження таких виробів і низька продуктивність. Однак виробництво таких виробів (галет) є актуальним в сучасних умовах, як показав практичний досвід. Використання процесу екструзії з одночасним суміщенням процесів розпушення та формування зможу вирішити цю проблему. Дослідження формування екструдуюваням газонаповненого тіста відсутні для щілинних отворів. Також проведення розрахунків тістомісильної машини, а саме витрат енергії на замішування, показало відмінність значень отриманих практичним шляхом.

Проведені дослідження особливостей формування дріжджового тіста через щілинний отвір та витрат енергії на замішування, аналіз отриманих результатів дозволили запропонувати принципово нову конструкцію змішувальнобродильноформуального агрегату з комбінованим робочим органом інтенсивної дії. Вдалося поєднати в даній конструкції інтенсивний процес замішування тіста, бродіння з накопиченням вуглекислого газу та формування плоских виробів (галет) екструдуюваням.

Встановлення розробленого агрегату дозволяє ефективно організувати процеси замішування та оброблення дріжджового тіста, створити потокову лінію з можливістю повної механізації та автоматизації виробництва, скоротити кількість обладнання лінії з виробництва галет, скоротити виробничі площі та підвищити економічні показники діяльності підприємства.

В магістерській кваліфікаційній роботі представлені також розділи охорона праці, технічна безпека та екологія.

Ключові слова: тісто, замішування, витрати енергії, щілинний отвір, змішувальнобродильноформуальний агрегат

Annotation

The literature review found that the production of flat products from yeast dough is associated with the complexity of processing processes, the need to use various, different by purpose and maintenance equipment, in addition, low loading of such products and low productivity.

The use of the extrusion process with the simultaneous combination of the loosening and forming processes will be able to solve this problem. There are no studies on the formation of gas-filled dough by extrusion for slotted holes. Also, the calculations of the dough mixer, namely the energy consumption for kneading, showed the difference between the values obtained in a practical way.

Conducted research on the features of yeast dough formation through a slit hole and energy consumption for kneading, analysis of the obtained results made it possible to propose a fundamentally new design of the mixing-fermenting-forming unit with a combined working body of intensive action. It was possible to combine the intensive process of dough kneading, fermentation with the accumulation of carbon dioxide and the formation of flat products (galettes) by extrusion in this design.

Installation of the developed unit allows you to effectively organize the processes of kneading and processing of yeast dough, create a flow line with the possibility of full mechanization and automation of production, reduce the number of equipment of the galette production line, reduce the production area and increase the economic indicators of the enterprise.

In the master's qualification work, sections on labor protection, technical safety and ecology are also presented.

Key words: dough, kneading, energy consumption, slit hole, mixing-fermenting-forming unit

ВСТУП

Харчова промисловість України – одна із провідних галузей народного господарства. За обсягом продукції вона посідає друге місце серед галузей промисловості і об'єднує 22 спеціалізовані галузі, що включають більш як 40 основних виробництв і виробляє більше 10 тисяч найменувань продукції.

Одним із основних завдань харчової промисловості є забезпечення споживачів продуктами харчування високої якості. В умовах економічного спаду та політичної нестабільності це завдання набуває ще більш важливого значення, адже без розвитку харчової промисловості вихід із економічної кризи неможливий.

Для розвитку харчової промисловості необхідне використання інтенсивних факторів: прискорення науково-технічного прогресу; вдосконалення організації виробництва, праці і управління; підвищення виробничої кваліфікації працівників. Інтенсифікація виробничих процесів передбачає максимальне використання досягнень сучасної науки, широке впровадження в практику нових прогресивних технологій.

Важливим напрямком технічного прогресу є постійне вдосконалення техніки, заміна застарілого обладнання більш продуктивним і економічним, мінімізація витрат на виробництво продукції для зниження її собівартості.

Використання процесу екструзії в харчовій промисловості дозволяє створити високо механізоване потокове виробництво, значно скоротити витрати ручної праці та витрати енергії.

1. Аналіз процесу замішування та оброблення тіста та огляд сучасного обладнання для виробництва плоских виробів (галет)

1.1 Процес замішування, теорія та стадії процесу

В останні роки набувають розвитку сучасні технології тістоготування, які передбачають інтенсифікацію процесу замішування тіста, підвищення продуктивності тістомісильних машин, розроблення та вдосконалення обладнання безперервної потокової дії, підвищення та стабілізація якості виготовленої продукції та рентабельності хлібопекарського виробництва в цілому.

Інтенсивне механічне оброблення тіста під час замішування є найбільш із результативних методів оптимізації процесу замішування тіста та в подальшому впливає на процес бродіння є достатнім для отримання високоякісних характеристик тіста, дозволяє регулювати зміну його структурно-механічних характеристик та покращить структуру пористості готової хлібопекарської продукції.

Тривалість процесу виготовлення хлібних виробів складає 6-8 годин. Сучасні дослідження в галузі хлібопекарської промисловості присвячені інтенсифікації процесу виробництва та створенню сучасних ресурсозберігаючих виробництв. Важливе місце в цьому процесі займають питання інтенсифікації процесу замішування тіста. Зменшення тривалості приготування тіста можливо досягти біохімічними способами (синтетичні добавки), інтенсифікації процесу бродіння тіста стимулюванням процесів біохімічних реакцій в тісті, та шляхом комбінації з механічними методами впливу на тісто.

У цілому такими методами неможливо досягнути суттєвих зрушень в цьому питанні та високих показників якості готової продукції. Створення нового покоління тістомісильних машин безперервної дії з інтенсивним процесом замішування дозволить вирішити питання стабілізації якості

готової продукції та впровадження ресурсощадних технологій виробництва хлібобулочних виробів.

Замішування пшеничного тіста - є однією з найважливіших технологічних стадій процесу приготування хлібобулочних виробів, від здійснення якої в значній мірі залежить подальше протікання технологічного процесу та якість готових виробів в цілому. Під час замішування з борошна, води, сольового розчину, дріжджової суспензії та інших компонентів отримують однорідну масу з відповідними структурно-механічними властивостями, для успішного перебігу подальших стадій технологічного процесу, а саме: бродіння, оброблення вистоювання та випікання.

Посилене механічне оброблення тіста під час замішування - є одним із ефективних методів інтенсифікації процесу приготування тіста, що дає змогу вплинути на його структуру та якість готових виробів .

Відповідно до сучасних уявлень про механізм процесу замішування, розглядаємо три стадії процесу.

Перша стадія процесу замішування тіста - механічне перемішування компонентів з метою їх рівномірного розподілу. В цілому цю стадію можливо розглядати як механічний процес утворення рівномірної суміші вихідних компонентів тіста (сипких та рідких), досягнення рівномірної концентрації складових у всьому об'єму суміші.

Відповідно, висока інтенсивність перемішування на першій стадії дозволяє досягти ефекту рівномірного перемішування вихідних рецептурних компонентів: сольового розчину, дріжджової суспензії, борошна, води, та інших рецептурних добавок. Під час першої стадії витрати енергії мінімальні, але забезпечується створення однорідної суміші з доволі рівномірним розподілом за об'ємом концентрації твердих компонентів у рідкій фазі. Враховуючи те, що найефективніше змішуються сипкі тверді речовини та рідини на поверхні контакту фаз.

Однак, досягнутий рівномірний стан суміші досить нестійкий. Якщо інтенсивність перемішування на першій стадії замішування тіста невелика, то технологічна операція буде супроводжуватися швидким збільшенням когезиційних процесів, та призведе до осмотичного набрякання частин борошна, що гальмує процес рівномірного розподілу компонентів тіста. Цей ефект пояснюється зміною сили тертя між твердими частинками борошна та появи вихрового характеру руху частинок, компонентів тіста, що в свою чергу впливає на збільшення енергетичних витрат на першій стадії замішування тіста. Одночасно відбувається поглинання рідини твердими частинками, збільшується кількість вологи між частинками та підвищується вологість вихідних рецептурних компонентів. Дифузійні процеси між компонентами суміші, спочатку неоднорідної системи, сприяють виникненню незворотних процесів на поверхні контакту вихідних компонентів.

На першій стадії замішування тіста характеризуємо як період активних сорбційних процесів. Зміна агрегатних станів солі, дріжджів, борошна, рецептурних добавок, води й повітря приводить до якісної зміни цих речовин. Взаємодія адсорбцією відбувається у всьому об'ємі, який перемішується. Більш активно адсорбційні процеси проходять на поверхні суміші. За повільного перемішування виникають десорбційні процеси, які супроводжують поділ компонентів.

Схема процесів, які відбуваються під час процесу замішування (рис. 1.1), перша стадія замішування свідчить про початок формування необхідної структури тіста з заданими властивостями. Під час взаємодії місильного органу, з сумішшю, відбувається перебіг ряду специфічних процесів. Тому вирішальну роль на цій стадії відіграють фізичні, біохімічні, мікробіологічні та колоїдні реакції, що відбуваються в тістовій масі, в залежності від типу робочого органу, який використовується. Інтенсивність мікробіологічних процесів визначається активністю кислотоутворювальних

бактерій борошна та дріжджів. Але на першій стадії замішування тіста вони не мають істотного впливу на хід процесу. Дослідженнями встановлено, що на цій стадії борошно та вода зв'язується адсорбційно. Частинки взаємодіють у повному об'ємі, а не тільки на поверхні. Набрякання - це екзотермічний процес. Під час замішування тістова маса захоплює й утримує (процес оклюзії) бульбашки повітря. Частково у вигляді емульсії газу в рідкій фазі, частково - в набряклих білках борошна в вигляді газових пухирців. Поглинання збільшеного об'єму води активує дію ферментів, що в цілому супроводжує процеси набрякання та пептизації білків з розрідженням суміші.



Рис. 1.1. – Структурна схема трістадійної моделі замішування тістової маси: I - механічне змішування рецептурних компонентів тіста; II - дифузна

взаємодія компонентів; III - структуроутворення, утворення клейковинного білково каркасу.

Присутність сольового розчину змінює активність життєдіяльності дріжджів та впливає на фізичні властивості клейковини суміші, що в подальшому впливає і на смакові характеристики хлібних виробів. Таким чином, внесення солі в опару та тісто є технологічно доцільним. За рахунок внесення солі зменшується піноутворення, спочатку збільшується, а потім стабілізується піднімальна сила дріжджів.

Тісто в кінці першої стадії процесу замішування охарактеризується як складна дисперсна система. Ефективність першої стадії оцінюється ступенем однорідності отриманої тістової маси. Разом з тим коротка тривалість першої стадії не дозволяє компонентам утворити стійкі реакції.

Особливості проходження другої стадії процесу замішування тіста.

Під час другої стадії закінчується дифузійна взаємодія сухих компонентів з рідиною, рівномірність перемішування й утворення властивостей тіста. На початку другої стадії тісто є трифазним середовищем: рідкої, твердої й газоподібної фаз. Тверда фаза на цьому етапі складається з крохмалю, розчинених солі, білків і вуглеводів, нерозчинних білків і вуглеводів. Такий розподіл визначається характером взаємодії з рідиною та реакцією впливу місильного органу. На завершення другої стадії замішування – набрякле тісто з включеннями повітря.

Друга стадія замішування зумовлюється характерною взаємодією складових компонентів: на першому етапі рідка та тверда фази взаємодіють між собою за типом гідролітичних реакцій. Такі реакції зумовлені гідрофільними та гідрофобними видами зв'язків, які посилюють збільшення когезійних і адгезійних властивостей тіста. В цьому випадку взаємодія часток борошна з водою сприяє збільшенню об'єму набряклої маси та на даному етапі є, безумовно, позитивним ефектом.

На другій стадії відбувається вирівнювання концентрації компонентів до однорідного рівня у всьому об'ємі тістової маси, яка перемішується. Прискорення дифузійних процесів відбувається і за рахунок деформаційних впливів, які виникають в результаті контакту тістової маси з робочим органом тістомісильної машини. Сорбційні процеси зумовлюють гідратацію розчинних складових, для яких характерний абсорбційний тип реакцій. Адсорбційна взаємодія властива для нерозчинних інгредієнтів. Для крохмалю типове хемосорбційне з'єднання. Крім того, відбувається збільшення в'язкості та релаксаційних характеристик, зменшення течії та структура, що утворилася характеризується відсутністю стискуваності маси.

Деформаційні процеси від впливу робочого органу на цьому етапі здійснюються завдяки зсуву, стисканню та розтягуванню тістової маси, що приводить до збільшення енергоспоживання в зв'язку з збільшенням в'язких та пружних характеристик маси, внутрішнього тертя між структури об'єму тіста, яке перемішується. Об'єм суміші збільшується за рахунок розчинних інгредієнтів та утворення клейковинного скелету. Вода в результаті дифузії потрапляє всередину часток борошна, які осмотично набухають без виділення тепла. Збільшення об'єму відбувається за рахунок процесу змочування та поглинання рідкої фракції, розподіляється в такий спосіб між білками борошна. Особливістю білків клейковини борошна є велика розбіжність у молекулярній масі та різною здатністю до водопоглинання.

Внаслідок дифузії води відбувається осмотичне набрякання молекул білків борошна. За рахунок реакції гідратації відбувається набрякання білків. Клейковина набрякає й утримує рідку фазу тіста в об'ємі, що перевищує первинний у 2-2,5 рази.

На другій стадії тісто - це дисперсна система, яка утворена твердою, рідкою та газоподібною фазами. В залежності від співвідношення цих складових визначаються фізичні властивості маси. Тверда фаза - це набряклі нерозчинні у воді білки, зерна крохмалю та частинки оболонки, які в

подальшому надають тісту пластичності. Складовими рідкої фази є вода, що не зв'язана адсорбційно, водорозчинні компоненти органічного та мінерального походження, набряклі пентозани борошна та вільна в'язка рідина. Вуглекислий газ відіграє визначальну роль у формуванні пористості м'якушки хліба, основна частина газу, який формує пористість тіста міститься у білках тіста (оклюдується), та емульсія газу в рідкій фазі тіста. Цим другим етапом процесу замішування тіста закінчується, але дуже важливою стадією для підвищення якості тіста необхідна третя стадія - пластифікації.

Пластифікація тіста — заключна третя стадія замішування тістової маси. Третя стадія замішування характеризується структуроутворенням, створенням білкового остову тіста, виникненням і розвитком газоутримувальної та формоутримувальної здатності пшеничного тіста.

На третій стадії замішування тіста тістова маса піддається підвищеному механічному обробленню, забезпечується інтенсивне захоплення повітря всім об'ємом тістової маси. Ці околюзійні процеси подібні абсорбційним. Проте захоплена газова суміш реагує з тістовою масою та повністю поглинається нею.

Температура тіста підвищується на третій стадії. У результаті підвищення температури відбувається зміцнення структури тіста, що дозволяє отримати відповідну формоутримувальну здатність тіста. Оскільки в тісті виникають композиції тістових елементів на третій стадії, які за властивостями відповідають готовому тісту, реологічні властивості тістової маси описуються ефективною в'язкістю. Інтенсивність впливу робочого органу тістомісильної машини багато в чому визначає структурно-механічні властивості тістової маси. Робота, яка витрачається на третій стадії, іде на подолання в'язкопружних властивостей, руйнування утворених з'єднань і

надання напрямку переорієнтації білкових молекул у потоці місильного органу.

Інтенсивний механічний вплив на тісто на третій стадії необхідно для створення умов розпаду білкових макромолекул клейковини, клейковинного остову, появи клейковинних плівок та стабілізації структури тіста. Тут особливу роль мають технічні характеристики та параметри робочого місильного органу. Для утворення рівномірної консистенції тіста необхідно забезпечити режим відривної течії робочого органу, в суміжному шарі з робочим органом відбуваються процеси розтягування - стискання та зсуву макромолекул. Швидкість проходження процесів пластифікації зумовлюється характером механічного впливу робочого органу та можливістю утворення нових білкових структур.

За рахунок пластифікації білків клейковини тіста утворюються губчатий "каркас" - остов, властивості якого визначають основні структурно-механічні характеристики тістової маси: розтяжність, пружність та пластичність. На цьому етапі макромолекули клейковини тіста зазнають внутрішніх і зовнішніх змін. Під час інтенсивного процесу замішування часточки ліпідів рівномірно розподіляються у вигляді найтонших плівок в усьому об'ємі тіста, і це має істотний вплив на процес утворення рівномірної пористої структури тіста.

Збільшення кількості мікроорганізмів та їх рівномірний розподіл в результаті інтенсивного замішування позначається наступному процесі бродіння накопиченні кислотності тіста, та структуроутворенні. Однак, на життєдіяльність мікроорганізмів має вплив кількість цукру та жиру в тісті. Процеси бродіння, не завершуються процесом замішування, а тривають і під час бродіння тіста та вистоювання тістових заготовок.

1.2. Оброблення тістових заготовок із пшеничного тіста

Стадія оброблення тіста з пшеничного дріжджового тіста складається із таких операцій технологічного процесу: ділення тіста на заготовки заданої

маси, надання заготовкам визначеної форми округлюванням та, за необхідності, заочуванням, вистоюванням сформованих тістових заготовок під час якого відбувається бродіння для накопичення вуглекислого газу, збільшення об'єму тістових заготовок їх розпушення. Всі операції технологічного процесу здійснюються на різному за призначенням технологічному обладнанні. Виробництво виробів видовженої форми, батоноподібних, джгутоподібних, особливо які мають менший діаметр по відношенню до довжини, включає всі перераховані операції для отримання високої якості продукції. Такі вироби включають сухарні плити для сухариків невеликого діаметру, хлібні палички, багети, тощо.

Послідовність стадій технологічного процесу, із яких складається технологічний процес виробництва на прикладі батонів із пшеничного борошна, наведена на схемі рис. 1.2..

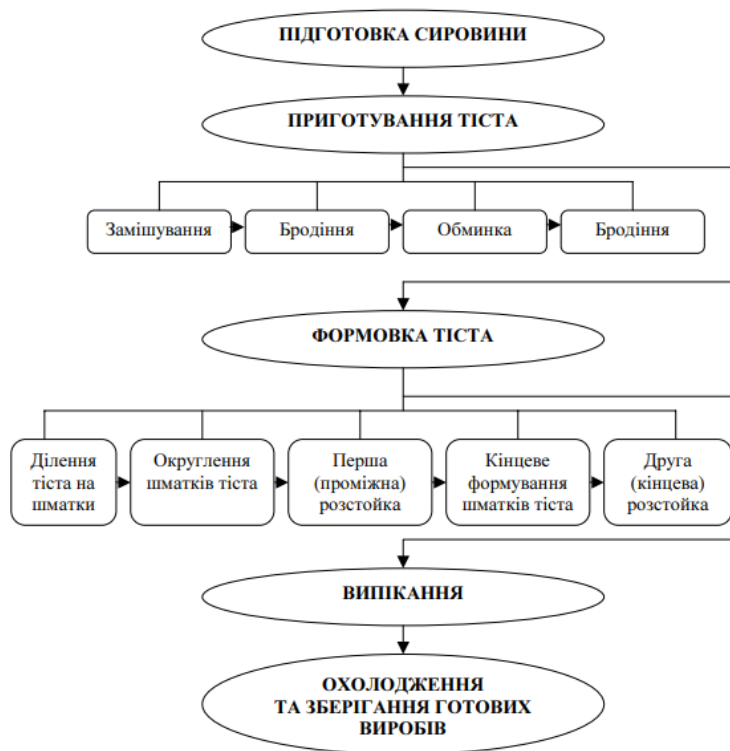


Рис. 1.2. - Стадії технологічного процесу приготування виробів видовженої форми

1.3 Сучасні конструкції тістомісильних машин безперервної дії, які використовуються в Україні та за кордоном

Залежно від рецептурного складу, виду борошна, та особливостей технологічного процесу виробництва для замішування пшеничного тіста використовують різні типи тістомісильних машин з різною інтенсивністю механічного впливу на тісто. Якість тіста після замішування визначають, як правило, органолептично та за показниками якості готових виробів.

Серед вимог до тістомісильних машин висуваються наступні: оптимальна конфігурація місильного робочого органу та відповідну частоту обертання, для забезпечення інтенсивного замішування тістової маси за короткий термін. Частоту обертання робочого органу бажано регулювати в залежності від виду тіста, яке оброблюється.

Машини безперервної дії використовуються в хлібопекарській промисловості порівняно недавно. Перші такі машини були впроваджені в 1947 році під час організації потокового виробництва. Основними елементами тістомісильних машин безперервної дії є: робочі камери та місильні органи із застосуванням різних типів місильних елементів. В одній конструкції тістомісильної машини використовують робочі органи різних типів змішувачів. Як правило місильні камери циліндричної форми чи коритоподібні. Конструкції сучасних тістомісильних машин безперервної дії закордонного та вітчизняного виробництв, які використовуються в промисловості.

Тістомісильна машина X-12 протягом тривалого час використовується в хлібопекарській промисловості України, вона відноситься до однокамерних тихохідних машин. Використовується для замішування як пшеничного так і житньо-пшеничного тіста, а також для замішування опари, продуктивністю до 20 т/добу. Машина застосовується на багатьох підприємствах через простоту конструкції та обслуговування.

Основними елементами машини є: (рис. 1.3.) напівциліндрична робоча камера 5, з розміщеним в центрі місильним валом 4, на якому за

гвинтовою лінією закріплені лопаті 3. Зверху місильна камера закривається відкидною кришкою з блокувальним механізмом.

Борошно дозується в машину дозатором роторного типу безперервної дії через прямокутний патрубок 1, в якому встановлені два ємкісні датчики рівня для забезпечення постійного стовпа борошна над дозатором. Дозатор, приводиться від головного валу тістомісильної машини кривошипно-шатунним механізмом та клиновим фрикційним храповиковим механізмом. Для попередження утворення склепінь перед дозатором встановлено зворушувач за типом білкового колеса.

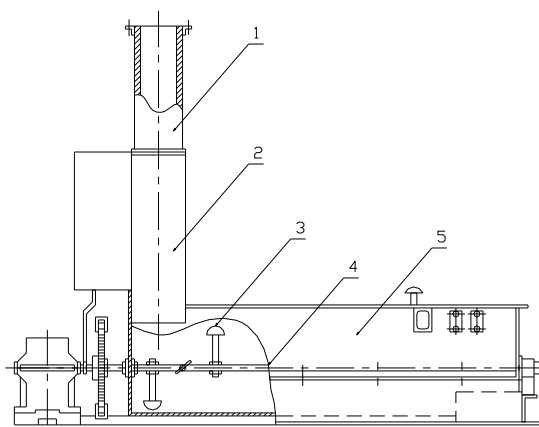


Рис. 1.3. Тихохідна тістомісильна машина безперервної дії X-12:

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

Машина працює від електродвигуна та циліндричного редуктора. На передній панелі управління розміщені крани дозаторів для рідких компонентів.

Всі компоненти безперервно та порційно малими дозами від дозаторів подаються в передню частину робочої камери 5, в якій встановлено поріг для запобігання руху рідких компонентів вздовж корита, перемішуються лопатками 3 (які закріплені за гвинтовою лінією під кутом до осі валу) та транспортуються вздовж корита. Тістова маса переміщується маси до патрубку вивантаження, переміщується та пластифікується.

Очищення тістомісильної машини після закінчення роботи здійснюється без розбирання, що не зовсім зручно. Машина не забезпечує інтенсивне замішування тіста, конструкція робочого органу цього не може забезпечити, через ненадійну роботу дозувальних систем допускаються значні коливання складу тіста. На машині відсутні пристрої для регулювання кількості обертів робочого валу та тривалості замішування тіста.

Максимальна кількість обертів місильного валу обмежується 48 об/хв, і, відповідно, інтенсивністю механічного впливу – зусиллям, що виникає в результаті тертя тістової маси по стінках місильної камери. Тому інтенсивність замішування неможливо підвищити шляхом збільшення кількості обертів місильного валу. Крім того, збільшення частоти обертання місильного валу може призвести до розкидання шматочків тіста. Для підвищення інтенсивності замішування можна подовжити місильне корито, вал та збільшити кількість лопаток.

Тістомісильна машина А2-ХТТ (рис. 1.4.) може використовуватися виключно для замішування пшеничного тіста, розроблена в УкрНДІПродмаші. Замішування пшеничного тіста проходить послідовно в двома видимими місильних робочих органів одновальної системи, встановленої в робочій камері. На першому етапі перемішування виконується чотирлопатовими дисками 5, а потім — плоскими дисками 6 з гальмівними сегментами 8, встановленими на стінках камери. Робочий вал машини встановлено на двох підшипникових вузлах 10, які відокремлені від робочої камери з тістом та ущільнені. Вал тістомісильної машини обертається від двигуна-редуктора 1 через муфту 2. Роторний дозатор борошна приводиться в дію ексцентриком 3, важелів з храповою передачею.

Борошно дозується роторним дозатором в патрубок для подавання борошна, а рідкі компоненти - дозувальною станцією в робочу змішувальну камеру, та перемішуються чотирлопатовими дисками і отримують імпульси для осьового зсуву. Потім тісто потрапляє в щілину між плоскими дисками та

розміщеними на стінках гальмівними сегментами внаслідок постійних зсувних деформацій, це сприяє орієнтації та формуванню частинок клейковинного остова.

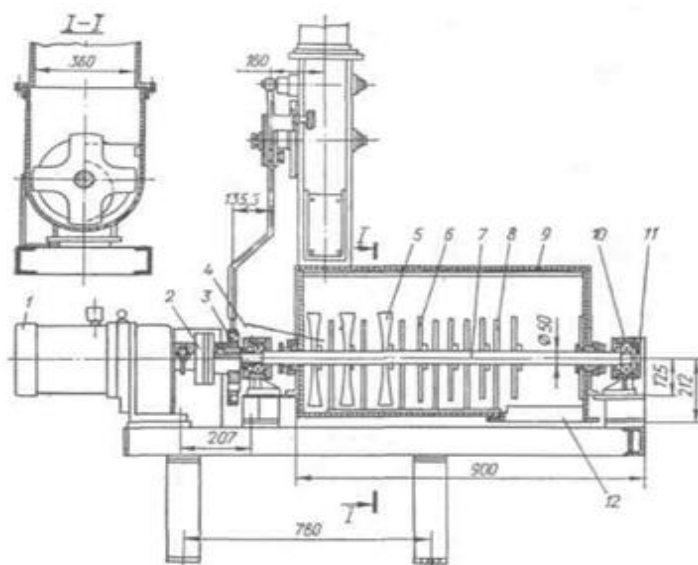


Рис. 1.4. Тістомісильна машина безперервної дії А2-ХТТ

1 — двигун-редуктор; 2 — муфта для з'єднання; 3 — ексцентрик для приведення дозатора ; 4 — робоча місильна камера; 5 - чотирилопатеві диски; 6 — плоскі диски; 7 — місильний вал; 8 — гальмівні лопаті, прикріплені до стінок камери ; 9 — кришка; 10 — підшипниковий вузол з ущільненням; 11 — станина;

Це дещо завчасно, проходить через 20—45 с від початку процесу, оскільки, відповідно до тристадійного процесу замішування це лише перша стадія – змішування компонентів, коли не відбулося ефективного змішування компонентів та їх рівномірного розподілу по всій масі, і не пройшов процес гідратації білкових речовин борошна, які не встигли поглинути вологу тістової маси по всьому перерізу часток. Готове тісто після замішування на виході з тістової камери намотується на вал, ножем знімається з нього та спрямовується в патрубок для вивантаження 12. В розглянутій конструкції інтенсивність замішування залежить від зусилля прилипання тістової маси до місильного диску, тому, в основному, визначається технологічними параметрами: вологістю, температурою та якістю борошна, кількістю та

якістю клейковини борошна та не регулюється ніякими пристроями, тому машина немає можливостей для управління процесом.

Тістомісильна машина Double “Clam Shell” Barrels.

Безперервний комплекс Readco - це двухшнековий змішувальний комплекс з кулачковими робочими органами, який виконує функції одночасного змішування одного або декількох сипких матеріалів з відповідно одним або декількома рідкими інгредієнтами та утворення однорідної суміші на випускному патрубку пристрою.

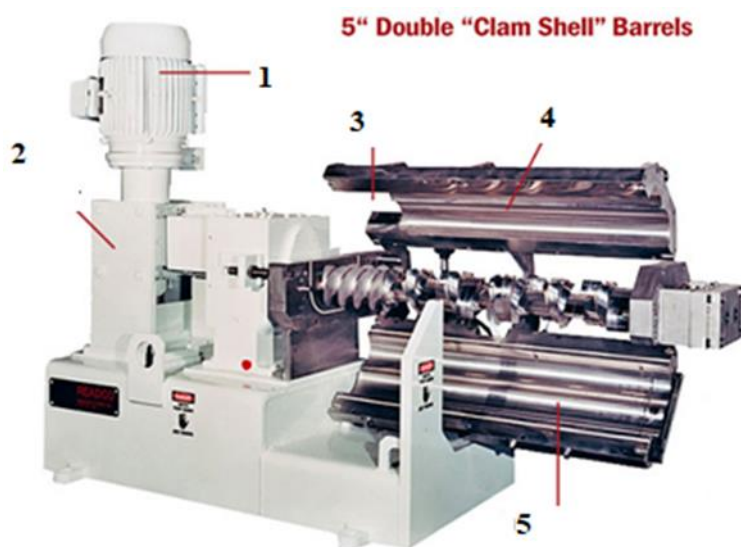


Рис .1.5. Змішувальний комплекс Double “Clam Shell” Barrels.

1 – двигун 20 HP; 2 – редуктор Right Angle Reducer; 3 – вхідний отвір; 4- верхній корпус; 5 – нижня панель

Змішувальний комплекс Readco Continuous Processor може використовуватися для широкого кола процесів: змішування, розминання, кристалізацією.

Тістозмішувальний комплекс VMI. (рис.1.6)

Сучасні тістозмішувальні комплекси безперервної дії, як правило, крім тістозмішувачів, включають обладнання для дозування сипких та рідких інгредієтів, пристосування для регулювання температурного режиму та параметрів процесу замішування, Робочі органи тістомісильної машини забезпечують інтенсивний процес замішування пшеничного тіста.

Тістозмішувальні комплекси добре адаптовані до виробничих циклів та забезпечують продуктивність кілька тон тіста на годину, поєднуючи і впровадження однієї з ефективних технологій для всіх етапів виробництва хліба.

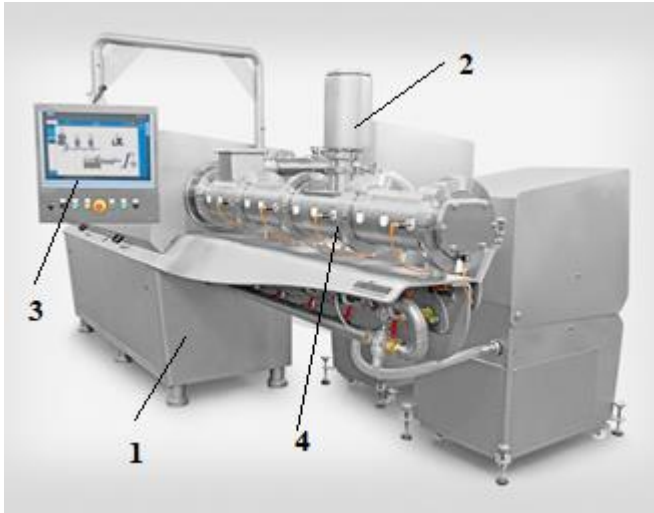


Рис. 1.6 Тістозмішувальний комплекс безперервної дії.

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

Змішувальний комплекс [Компанії Reading Bakery Systems](#) (рис.1.7).

[Компанії Reading Bakery Systems](#) – є світовим лідером в галузі технологій безперервного перемішування. Ці системи безперервного перемішування Ехаст використовуються для виробництва печива, крекерів, піци, корму для домашніх тварин та хлібобулочних виробів. Комплекс включає обладнання для дозування дві камери замішування, в одній із яких встановлено два місильних вали зі шнековими та кулачковими робочими органами в спареній циліндричній камері. Камера легко розбирається для доступу до робочих органів. Камера легко закривається та герметизується. Через з'єднувальний патрубок тістова маса подається в другу місильна камеру. Ця камера з одним місильним валом та робочими органами у вигляді пальців та штифтами, закріпленими на корпусі камери. Циліндрична камера також легко відкривається для очищення та герметично закривається.

Вивантаження тістової маси здійснюється в нижній частині другої камери та за допомогою транспортера передається на подальші стадії технологічного процесу

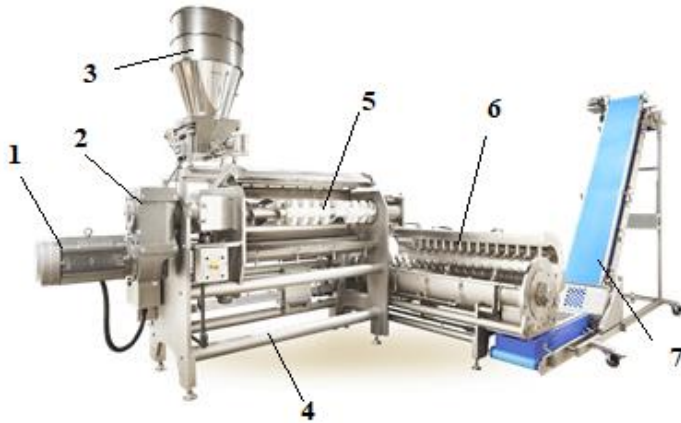


Рис. 1.7. Безперервний тістозмішувальний комплекс обладнання.

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

1.4. Екструзія – високоефективний метод формування харчових продуктів. Застосування екструзії в хлібопекарській промисловості

Серед існуючих методів формування надаємо перевагу екструзії – одному із найбільш ефективних методів формування, і його використання надає ряд переваг в порівнянні з іншими методами. Екструзія дозволяє організувати процес формування в безперервному режимі та за високої швидкості, що значно спрощує створення потоково-механізоване виробництво та автоматизувати виробництво. Процес екструзії та екструзійна техніка широко використовується в багатьох галузях промисловості, включаючи хімічну та харчову.

Екструдують використовували як спосіб формування, а маса після процесу підлягала подальшому опрацюванню: прокочуванню, калібруванню. Дослідження особливостей та закономірностей поведінки різних мас під час

екструдуювання надало можливість перейти до застосування екструдуювання як кінцевого процесу формування. Для цього необхідно, дослідити властивості маси, для оброблення, та взаємозв'язок між властивостями маси та режимами екструдуювання, а також вплив вказаних параметрів на форму, розмір і структуру екструдату. Основні дослідження екструзійної техніки проводилися у вивченні пластмас. Попередні дослідження спрямовані на визначення конструктивних характеристик, нагнітальному органу, однак, зараз важливим під час вивчення екструдерів є дослідження формувальної головки, каналів як визначальних елементів у формуванні якості продукту.

Харчова промисловість екструдерну техніку використовує в багатьох галузях. Макаронна промисловість більшість виробів формує екструдуюванням. Екструдерна техніка використовується також кондитерською промисловістю під час формування різноманітних корпусів цукерок із пралінових та інших мас. Відсаджувальні машини працюють як екструдери, використовуються під час виробництва пиріжків, сухих сніданків, кукурудзяних паличок, пончиків, хлібців, соломки й ін. Хлібопекарська промисловість використовує екструдерну техніку, як складову частину багатьох тістоподільників, та вони не використовуються для безпосереднього формування, а як проміжний етап процесу. Проте застосування екструдерів тільки для формування виробів видовженої форми за традиційного ведення технологічного процесу, який вимагає обов'язкового процесу вистоювання для розпушення тістових заготовок та пов'язані складності механізації, та є неефективним.

Особливо ефективним в хлібопекарській промисловості є використання процесу екструзії, як методу формування, для виробництва виробів типу батонів, хлібних паличок та подібних. Однак, розроблені конструкції екструдерів не набули широкого розповсюдження в промисловості для формування виробів із пшеничного дріжджового тіста, насамперед через проблеми в здійсненні наступних стадій процесу

оброблення тіста, і зокрема, вистоювання. За традиційного процесу виробництва оброблення включає багато операцій та використовує громіздке і багатопрофільне, металоємне обладнання.

В харчоконцентратній промисловості широко використовується гаряча екструзія для виготовлення сухих сніданків, кукурудзяних паличок інших виробів. Якості поверхні продукту має менше значення після гарячої екструзії.

Екструзія - прогресивний, високоефективний метод формування, що має ряд переваг у порівнянні з іншими способами. Його застосування дозволяє організувати процес безперервно і з високою швидкістю, що спрощує завдання по створенню поточно-механізованого виробництва, автоматизації процесу. Екструзія, як процес формування широко використовується в різних галузях промисловості, зокрема, хімічної, а також у харчовий [38,39,40]

Спочатку екструзія використовувалася як проміжна стадія процесу формування, екструзійна маса піддавалася подальшій обробці: прокатці, калібруванню. Вивчення закономірностей поведінки різних мас при екструзії дозволило перейти до застосування вільної екструзії. Це у свою чергу викликало необхідність більш глибоких досліджень впливу властивостей маси, що переробляється, і режимів екструдкування на форму, розміри й структуру екструдату.

Основні глибокі дослідження в цій області проводяться вченими, що вивчають екструзію пластмас. Якщо до цього часу велика увага приділялася конструктивним характеристикам витратно-напірним, нагнітаючому органу, то тепер центр ваги у вивченні екструдерів перемістився на дослідження формувальної головки, як основного фактора у формуванні якості екструдованого продукту.

У харчовій промисловості екструзійна техніка використовується в багатьох областях. У макаронній промисловості практично всі вироби

формують екструзією. Екструдери використовують у кондитерській промисловості для формування корпусів цукерок із пралинових мас. Відсаджувальні машини, які теж є екструдерами, використовуються при виробництві пиріжків, пончиків, кукурудзяних паличок, соломки, хрустких хлібців й ін. В хлібопекарській промисловості екструдери і є основною частиною багатьох тістоподільників, але їх використання для безпосереднього формування практично не застосовується, на що й указують автори, тому що втрачається товарний вигляд продукції через малу рухливість білкового каркаса. Однак, слід відмітити, що використання екструдерів тільки для формування при традиційному веденні технологічного процесу, що вимагає подальшого вистоювання й пов'язаними із цим процесом складностей механізації, не дає значного ефекту. Внаслідок чого промисловість віддає перевагу традиційному способу формування джгутів хоч і більш енергоємному але більш простому й надійному.

Особливо ефективно застосування екструзії як методу формування для виробів джгутоподібних, типу батонів, хлібних паличок. Однак, розроблені екструдери для паличок не одержали широкого розповсюдження в промисловості для дріжджового тіста, в основному із-за труднощів здійснення наступних стадій технологічного процесу, зокрема, вистоювання, з огляду на специфіку даного виду виробів. У той же час традиційний спосіб виробництва і лінії, розроблені на його основі, містять багато операцій, устаткування громіздке, металоємне.

1.5 Особливості поведінки газонаповнених в'язко-пружних матеріалів

Останнім часом широке розповсюдження отримало виробництво нових піноутворюючих матеріалів у хімічній промисловості.

В якості спінюючих газів використовують азот, вуглекислий газ, водень, аміак, повітря й ін. за своїми структурно-механічних властивостях ці середовища найбільш близькі до характеристик дріжджового тіста. Наукові

дослідження із цього питання значно обмежені, оскільки необхідність в них виникла тільки останнім часом у зв'язку з розширенням практичного застосування таких матеріалів і налагодженням їхнього виробництва.

В технологічній практиці процес спінення здійснюють у статичних (пресування) і динамічних умовах (екструзія).

Досліджено умови виділення газової фази в процесі вспінання [50]. Показано, що цей процес носить статистичний характер і здійснюється за рахунок дифузії розчиненого газу.

Дані про можливі структури потоків систем газовмісних полімерів, необхідні для побудови реологічних моделей, відсутні. Реологічні дослідження нечисленні і неузагальнені.

Особливістю кривих плинності полімер-газ є зникнення розриву при введенні газу, що зв'язали зі збільшенням вільного об'єму системи і зменшенням в'язкості. Утворення розривів пов'язане з переходом із текучого стану в високоеластичне при критичній інтенсивності впливу, при цьому розплав втрачає здатність текти й починає ковзати. Деякі автори припускають, що розчинений газ сприяє швидшому утворенню контактів між макромолекулярними ланцюгами через поверхню ковзання.

Вивчення теоретичних закономірностей дозволило одержувати конструктивні особливості голівок для формування вязкопружних матеріалів наповнених розчиненими газами. Так при рівномірному видавлюванні матеріалу безперервним струменем через нагрітий мундштук, що поступово розширювався, одержують пінопласт дрібнопористої структури.

В'язкість визначають залежно від швидкості зсуву за графічними матеріалами.

Таким чином, процес плинності газонаповнених матеріалів в каналах вивчений недостатньо, особливо це стосується зв'язку попереднього плинності з наступною поведінкою джгута після виходу із отвору. Дані по течії в

каналах формувальних матриц хлібопекарського тіста, насиченого вуглекислим газом, відсутні зовсім.

1.6. Особливості впливу реологічних характеристик на процес екструзії в'язкопружних середовищ

Роботи з вивчення реологічних властивостей матеріалу і їхній вплив на процес формування проводилися багатьма дослідниками у зв'язку з важливістю цього питання для створення нового формуючого устаткування. Екструдерна техніка знайшла широке поширення в макаронному виробництві й належить у цій галузі до основного устаткування. Дослідження в області екструзії макаронного тіста пов'язані з його специфічними властивостями; низькою вологістю, щільністю, і спрямовані на вивчення зміни клейковини в предматричній камері, вирівнювання швидкостей випресування макаронних виробів по ширині матриці, інтенсифікації процесу, усунення адгезії, технологічних й інших розрахунків.

Подальша механізація та інтенсифікація виробництва приводить до пошуку нових способів формування. Останнім часом збільшилася кількість робіт, пов'язаних з поліпшенням процесу екструзії хлібопекарського тіста. Однак, екструзія розкриває необхідність розгляду ряду специфічних властивостей тіста, пов'язаних з особливостями виявлення його реологічних характеристик. Дотепер застосування екструзії в хлібопекарській промисловості стримується в основному труднощами одержання якісного джгута після виходу з формуючого каналу без додаткових технологічних операцій, відомий спосіб формування, що передбачає екструзію тіста й укладання на поверхню стрічки з наступною прокаткою й утворенням шару. Однак поширення такого обладнання не одержало, з огляду неефективності його застосування. Застосування екструзії в хлібопекарській промисловості обмежено трьома факторами: ефект огрубіння екструдату не дозволяє одержати тістові заготовки із гладкою поверхнею, а відносно великий тиск формування й інтенсивний механічний вплив на тісто погіршують якість

готових виробів. Огрубіння екструдату полягає в появі на його поверхні характерних нерівностей, форма й розміри нерівностей залежать від властивостей формуючого матеріалу і параметрів екструзії. Причиною появи нерівностей на поверхні джута є збільшення напруження зсуву в деякому пристінному шарі вище критичного значення. Для режиму "сухої" екструзії характерні : "кільцеві задири", "рвана поверхня", "луската поверхня". Огрубіння 2 й 3 є окремими випадками огрубіння 2. Причиною огрубіння тістового джгута, зформованого в режимі "сухої" екструзії, є руйнування периферійного шару на виході з формуючого каналу. І для ліквідації огрубіння екструдату та зменшення енергоємності розглядає процес соекструзії. Соекструзія полягає в організації стратифікованого плинучого формуючої маси по шару малов'язкої соекстурованої рідини. Соекстурована рідина відокремлює масу, яка формується, від контакту зі стінками формуючого каналу. В якості соекстурованої рідини використали воду, рослинну олію й кластеризований розчин картопляного крохмалу.

Оскільки ці питання для хлібопекарського тіста вивчені недостатньо зокрема , зовсім не досліджено екстудування дріжджового тіста, то у зв'язку із цим є необхідність розгляду процесу екструзії для інших матеріалів із близькими структурно-механічними властивостями. Найбільш близької до екструзії хлібопекарського тіста є екструзія високомолекулярних з'єднань, при якій проявляються аналогічні явища.

У процесі екструзії найбільш повно проявляються реологічні властивості вязко-пружних матеріалів. Екструзія як спосіб формування широко застосовувався й застосовується при виробництві полімерів. Практична необхідність привела до систематичного й всестороннього вивченню реологічних властивостей матеріалів й їхній тісний зв'язок з розробкою нового обладнання. Доводиться зустрічатись із двома проявами специфічних властивостей полімерів - зі збільшенням поперечного перерізу екструдату, що вільно виходить з формуючого отвору та з огрубінням

поверхні (дробінням розплаву, meet fracture) , це явище можна назвати еластичною турбулентністю.

Поряд з огрубінням поверхні екструдера при формуванні вязко-пружних середовищ зустрічаємося з ще одним специфічним проявом неньютонівських властивостей, так названим явищем "мундштучного розбухання" або ефектом Баруса.

Процес розбухання є наслідком декількох процесів. При вході в оформляючий канал виникає напруження, що релаксується під час перебування розплаву в каналі. Залишкові напруження в момент виходу розплаву з капіляра і викликане ним поперечне розширення потоку будуть, зв'язані зі швидкістю потоку експоненціальною залежністю. Крім того, при русі у каналі поперечний градієнт швидкості приводить до орієнтації молекул уздовж потоку. При виході з каналу відбувається дезорієнтація молекул, що також приводить до деформації екструдату. Нарешті, вирівнювання профілю швидкостей по виходу з каналу приводить до деякого збільшення перерізу поза залежністю від відносної довжини каналу.

Висновки до розділу:

Виробництво пласких булочних виробів пов'язане з використанням різнопланового та різнопрофільного обладнання для механізації процесів оброблення та транспортування тістових заготовок між різними видами обладнання. Процес замішування найбільш ефективно організувати безперервним способом із застосуванням робочих органів інтенсивної дії. Інтенсивність процесу замішування ґрунтується на детальному аналізі якісних перетворень. Найбільш ефективними є робочі органи кулачкового типу, які здійснюють оптимальний ощадливий вплив на тістову масу.

Під час розроблення тістомісильної машини безперервної дії для замішування тіста для булочних виробів, доцільно виділити головні експлуатаційні показники, до яких відносяться:

- витрати питомої роботи на процес замішування;

- очищення, ремонт та експлуатація;
- конструкція робочих органів тістомісильної иашины;
- якісні показники готового тіста.

Стадія оброблення тіста – одна із найважливіших якісних показників готових хлібних виробів, яка визначає питомий об’єм, форма, стан поверхні, структуру пористості, стан поверхні та зовнішній вигляд виробу.

Мета: Дослідити процес екструдювання газонаповненого тіста через щілинний канал.

Визначити та проаналізувати витрати енергії під час замішування.

Розробити комплекс обладнання для виробництва булочних виробів, конструкцію агрегату для здійснення операцій інтенсивного замішування тіста безперервним способом та механізувати процес оброблення тістових заготовок.

2. Методика досліджень та опис експериментальних установок

2.1. Об'єкт досліджень

Об'єктом дослідження є процес замішування та екструдювання пшеничного тіста та обладнання для здійснення процесів замішування та оброблення. Під час досліджень, тісто готували за наступною рецептурою:

1. Борошно вищого гатунку пшеничне - 500г;
2. Пресовані дріжджі - 10 г
3. Сіль - 7,55 г
4. Цукор – 15,5 г
5. Олія – 10,2 г
6. Вода - 277 мл

Всі компоненти зважуються, дріжджі розводяться частиною води за температури 30° С. Залишкова кількість води завантажується в тістомісильну машину з температурою 45° С. Потім завантажуються сіль, цукор, олія та дріжджова суспензія. Замішували тісто протягом 20 хв. на третій швидкості.

2.2. Опис експериментальних установок

Експериментальне обладнання для замішування тіста, включає: станину 1, з приводом та регулятором обертів 2, місильного робочого органу 5.

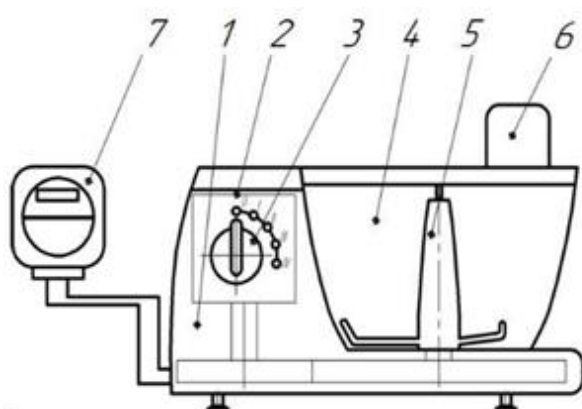


Рис.2.1. Схема лабораторної тістомісильної машини: 1 - станина; 2 – привід машини з регулятором кількості обертів місильного валу; 3 - перемикач швидкості обертання; 4 – камера замішування; 5 – місильний робочий орган; 6 – фіксувальна кришка;

Камера для замішування 4 встановлюється на станині, закріплюється за допомогою тримачів, місильний робочий орган 5, встановлюється в камері на приводному валу та закріплюється кришкою 6 з фіксатором, який одночасно фіксує діжу в нерухомому стані та виступає блокувальним механізмом. Для легкої та швидкої зміни частоти обертання приводного валу призначений перемикач 3.

В комплекс обладнання для дослідження процесу екструджування дріжджового тіста входить циліндричний корпус 1, куди завантажуються тісто та притискається поршнем 8. Корпус оснащений водяною сорочкою. В нижньому днищі корпусу, встановлена матриця 3, через канал якої відбувається екструджування газонаповненого тіста. Заслінкою 4 призначена для перекриття каналу матриці, вона рухається в напрямних 5. Камера закривається кришкою 9, в якій є патрубки для підключення манометру 6 для контролювання величини тиску. В патрубок для подавання стисненого повітря встановлено клапан 7. Повітря подається від компресора 12. Підтримання сталої температури (30° С) в водяній сорочці забезпечує ультратермостат 11.

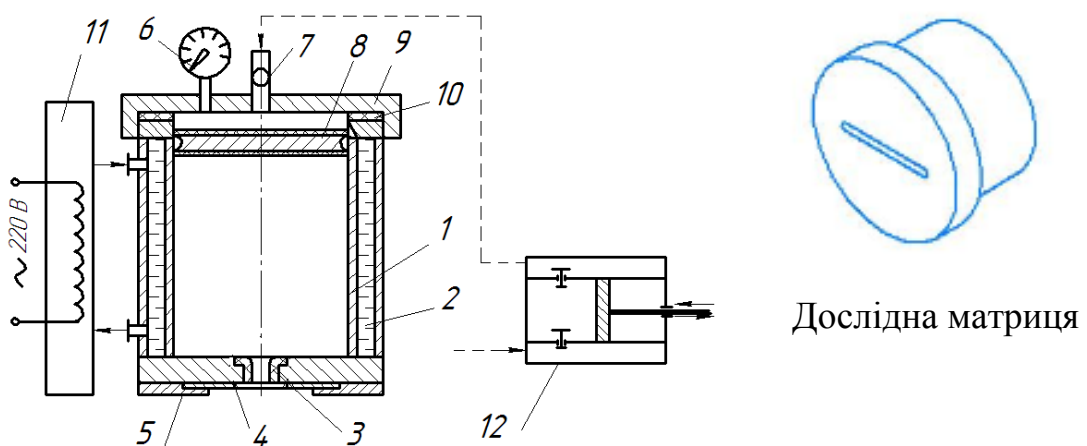


Рис. 2.2. Комплекс обладнання для дослідження процесу екструджування газонаповненого дріжджового пшеничного тіста: 1 – тістова

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.

2.3. Методика проведення експериментальних досліджень процесу екструджування дріжджового пшеничного тіста

Відповідно до рецептури замішуємо тісто для дослідження в тістомісильній машині на третій швидкості впродовж 20 хвилин. Вимірюємо температуру тіста та зважуємо. Бродіння відбувається в термостаті за температури 30° С в зволоженому середовищі протягом 30 хвилин.

Після бродіння тісто завантажують в тістову камеру, яка прогріта за рахунок попереднього підключення сорочки до ультратермостату, закриваємо кришкою, та під'єднуємо шланг зі стиснутим повітрям від до величини тиску 0,2МПа. В камері тісто вистоюється 20 хвилин за заданого тиску та температури. Екструджування проводимо за цього ж значення тиску. Під час екструджування фіксуємо тривалість пресування джгута, його розміри (товщину, довжину) та масу. Для досліджень використовували матрицю зі щілинним отвором та тривалості вистоювання тіста для забезпечення різної газонаповненості.

3. Дослідження процесів замішування та екструдуювання галет

3.1. Дослідження витрат енергії під час замішування пшеничного тіста

Дослідження витрат енергії під час замішування використовувалася експериментальна тістомісильна машина періодичної дії, з чотирма швидкостями: $n_1-1,5$; $n_2-2,2$; $n_3-2,8$; $n_4-4,4$ с^{-1} . Витрати енергії фіксували за допомогою ватметра (рис.3.1.).

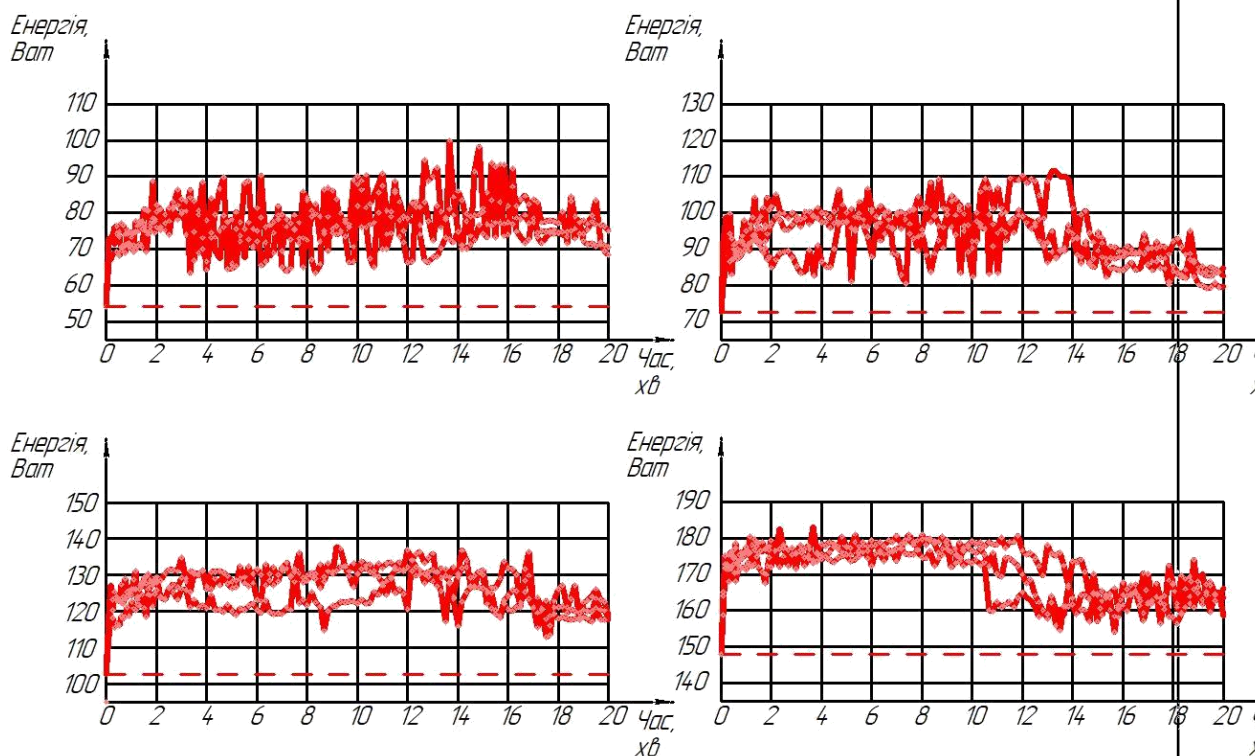


Рис.3.1. Витрати енергії під час замішування (чотири швидкості)

За цими даними побудували графік середніх значень зміни витрат енергії установкою під час замішування пшеничного тіста (рис.3.2).

Експериментальні енергетичні витрати на процес замішування

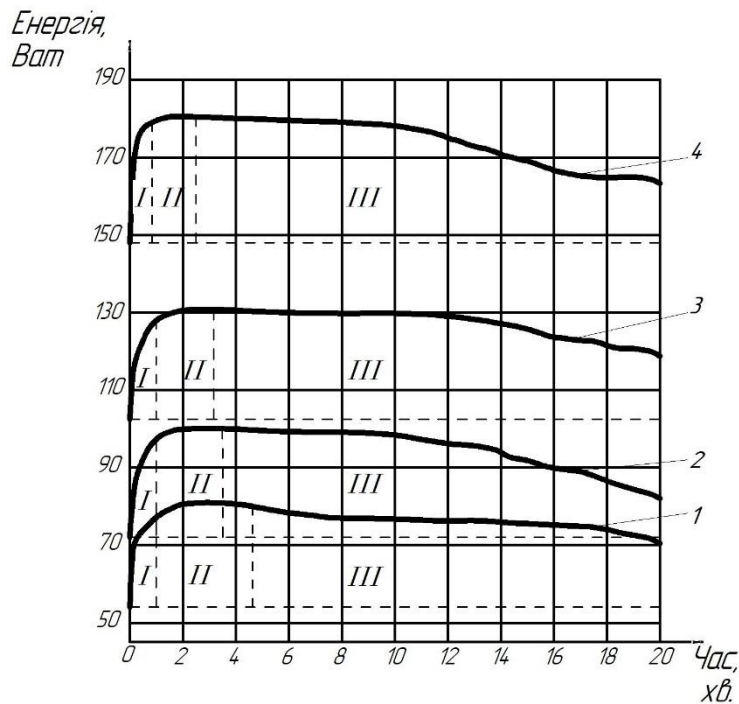


Рис. 3.2. Залежності витрати енергії від часу замішування на різних швидкостях

1 – перша швидкість, $n = 1,5 \text{ c}^{-1}$; 2 – друга швидкість $n = 2,2 \text{ c}^{-1}$; 3 – третя швидкість, $n = 2,8 \text{ c}^{-1}$;

4 – четверта швидкість, $n = 4,4 \text{ c}^{-1}$;

I – перша стадія: змішування компонентів;

II – друга стадія: власне замішування;

III – третя стадія: пластифікація.

Експериментальні результати підтверджують тристадійність процесу замішування на всіх чотирьох режимах роботи тістомісильної машини.

Розрахувавши витрати енергії за відомою методикою, де загальні витрати роботи на один оберт робочого органу визначаються як:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

де: A_1 - робота, що витрачається на перемішування маси;

A_2 - робота на переміщення робочих органів;

A_3 - робота на нагрівання тіста;

A_4 - робота на зміну структури тіста

Для порівняння їх з отриманими експериментальними даними для дослідної тістомісильної машини склали таблицю Тблиця 3.1.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз розрахункових та експериментальних витрат роботи

		Частота обертання робочого органу							
		n=1.5 c ⁻¹		n= 2.2 c ⁻¹		n= 2.8 c ⁻¹		n= 4.4 c ⁻¹	
		Питома робота за стадіями, Дж/г							
		Експеримент.	Розрахунок	Експеримент.	Розрахунок	Експеримент.	Розрахунок	Експеримент.	Розрахунок
A ₁	1 стадія	1,7	0,16	2,3	0,17	2,42	0,17	2,8	0,19
	2 стадія	10,2		7,8		6,8		6,4	
A ₂		—	0,02	—	0,03	—	0,03	—	0,05
A ₃		—	5,0	—	5,2	—	6,6	—	11,0
A ₄		46,8	0,02	49,1	0,02	50,7	0,02	51,8	0,02
A _{шт}		58,8	5,17	59,3	5,4	59,9	6,8	61,0	11,3

Аналіз отриманих результатів свідчить, що вони суттєво відрізняються. Так розрахункові питомі витрати роботи на замішування складають від 5,2 від першої частоти обертання до 11,3 Дж/г на четвертій частоті, а експериментальні значення від 58,8 до 61,0 Дж/г. З огляду на ці показники, відмінність значень на першій і другій стадіях не є такою суттєвою. Найбільша відмінність спостерігається у витратах питомої роботи на зміну структури тіста.

Що пояснюється тим, що існуюча теоретична методика розрахунку не враховує повною мірою витрат роботи, на в'язке тертя тістової маси під час перемішування та, відповідно, зміну структурно механічних властивостей готового тіста, переходу від окремих порошкоподібних і рідких фаз під час

замішування до складної в'язко-пружної структури з неньютонівськими властивостями.

Результатом нашого аналізу є необхідність внесення змін в існуючу методологію розрахунку енергетичних витрат на процес замішування тіста. Нами було запропоновано змінити формулу для розрахунку роботи, що витрачається на зміну структурних властивостей тіста. Ці зміни починаються на другій стадії замішування та відбуваються протягом третьої стадії – пластифікації. Так відповідно до існуючої методології робота на зміну структури тістової маси розраховується в розмірі 5-10% від роботи, яка витрачається на перемішування. Ми пропонуємо розраховувати роботу, яка витрачається на структурні перетворення тіста визначити як $5 \cdot A_1$, тобто збільшити в 50 разів

3.2. Дослідження процесу екструджування газонаповненого тіста через щілинний канал

Дослідження процесу екструджування проводили на експериментальній установці для екструджування газонаповненого тіста. Надлишковий тиск для випресовування створювали компресором 12. Використовували матрицю з фторопласту довжиною 25 мм та щілинним отвором висотою 3мм та шириною 24 мм. Дослідження через щілинний отвір, проводили за значень тиску: 0,1; 0,2 та 0,3 МПа, та різній тривалості виброджування тіста в герметичній камері, за: 0; 20; 40; 60хв.

Дослідили вплив вмісту газової фази тіста на середню швидкість потоку через щілинний канал (рис.3.3).

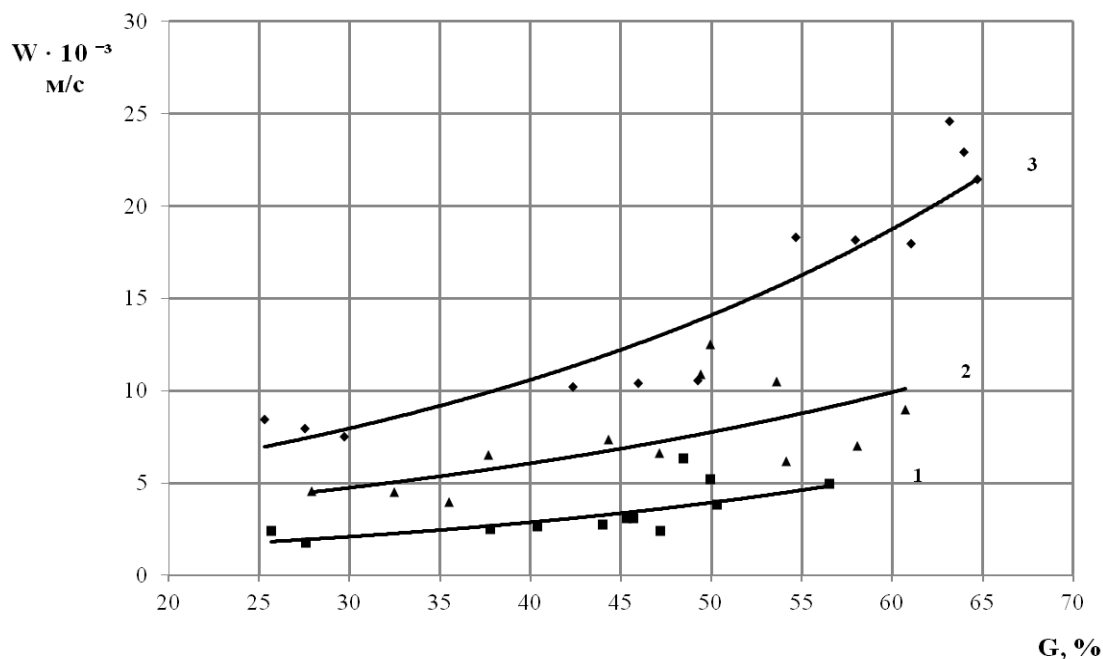


Рис. 3.3. Зміна середньої швидкості екструзування тіста через щілинний канал за значень надлишкового тиску 1 — 0,1 МПа; 2— 0,2 МПа; 3— 0,3 Мпа

Отримані залежності експоненційного характеру. Опрацювавши відповідні експериментальні значення отримали єдине рівняння залежності середньої швидкості тістового потоку w через щілинний канал від вмісту газової складової G та тиску пресування P має вигляд. Всі криві описуються таким рівнянням:

$$w = 0.440e^{7.142P} G^{0.028}$$

На величину швидкості впливає надлишковий тиск: чим більший тиск — тим вища середня швидкість потоку.

Збільшення вмісту газової фази в тістовій масі до 60%, викликає збільшення швидкості пресування в 5 разів .

Слід відмітити, рівномірність випресовування тістової маси через щілинний канал відповідного перерізу. Дослідити канали більших розмірів не було можливості через габаритні розміри експериментальної установки.

В результаті досліджень ми отримали залежності і об'ємної продуктивності від вмісту вуглекислого газу та різного надлишкового тиску в дослідженому діапазоні (рис. 3.4.).

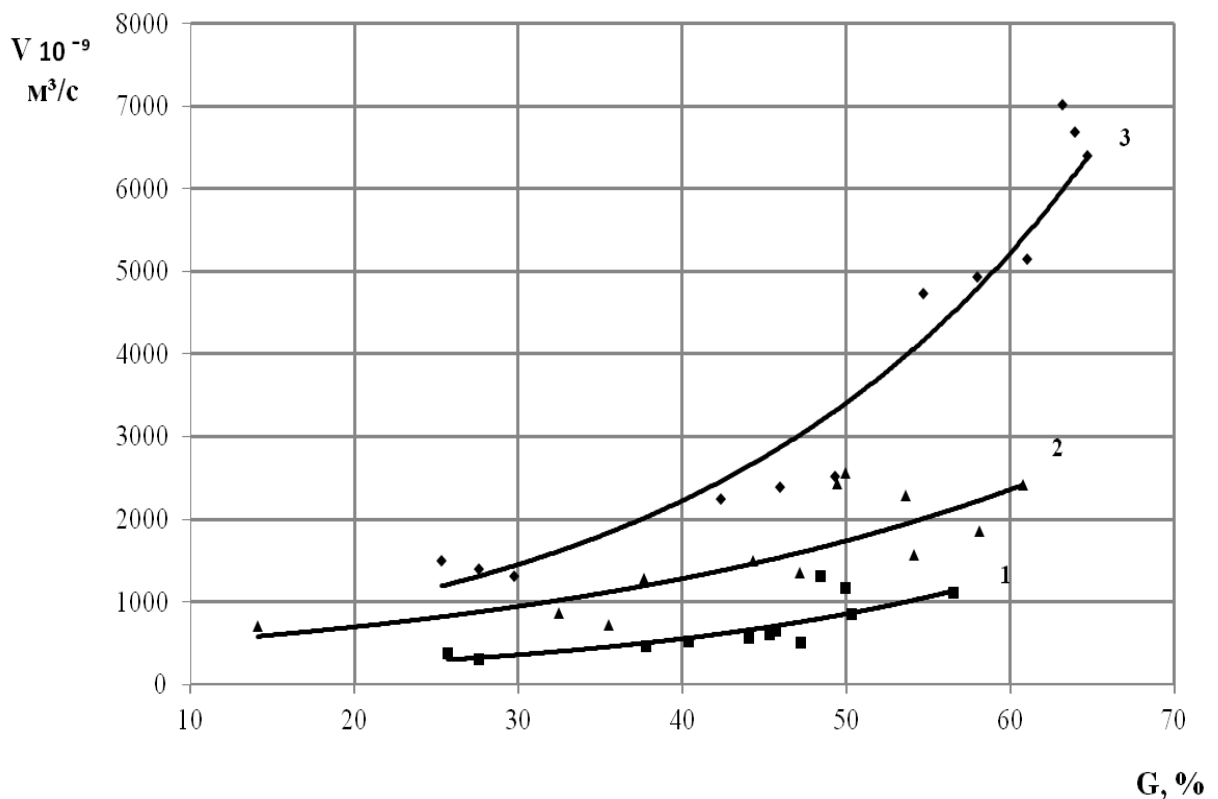


Рис. 3.4. Залежність об'ємної продуктивності пресування через щілинний канал для величини тиску: 1— 0,1 МПа; 2— 0,2 МПа; 3— 0,3 МПа.

Графіки об'ємної продуктивності від вмісту газової фази експоненційного характеру. Опрацювавши результати експерименту отримали єдине рівняння для всіх значень тиску екструдуювання залежності об'ємної продуктивності $V, \text{м}^3/\text{с}$ від вмісту вуглекислого газу:

$$V = 59.576e^{7.096P} G^{0.039}$$

За рахунок збільшення вмісту газу, внаслідок збільшення тривалості бродіння, збільшується продуктивність, що пояснюється зростанням середньої швидкості потоку, за рахунок зменшення в'язкості тістової маси. За значення тиску 0,3 МПа нами спостерігалось порушення цілісності тістової стрічки (крива 3), зриву стабільної течії та деформація тістової заготовки і, як наслідок більша розбіжність експериментальних даних.

Масова продуктивність також експоненційного характеру (рис.3.5)

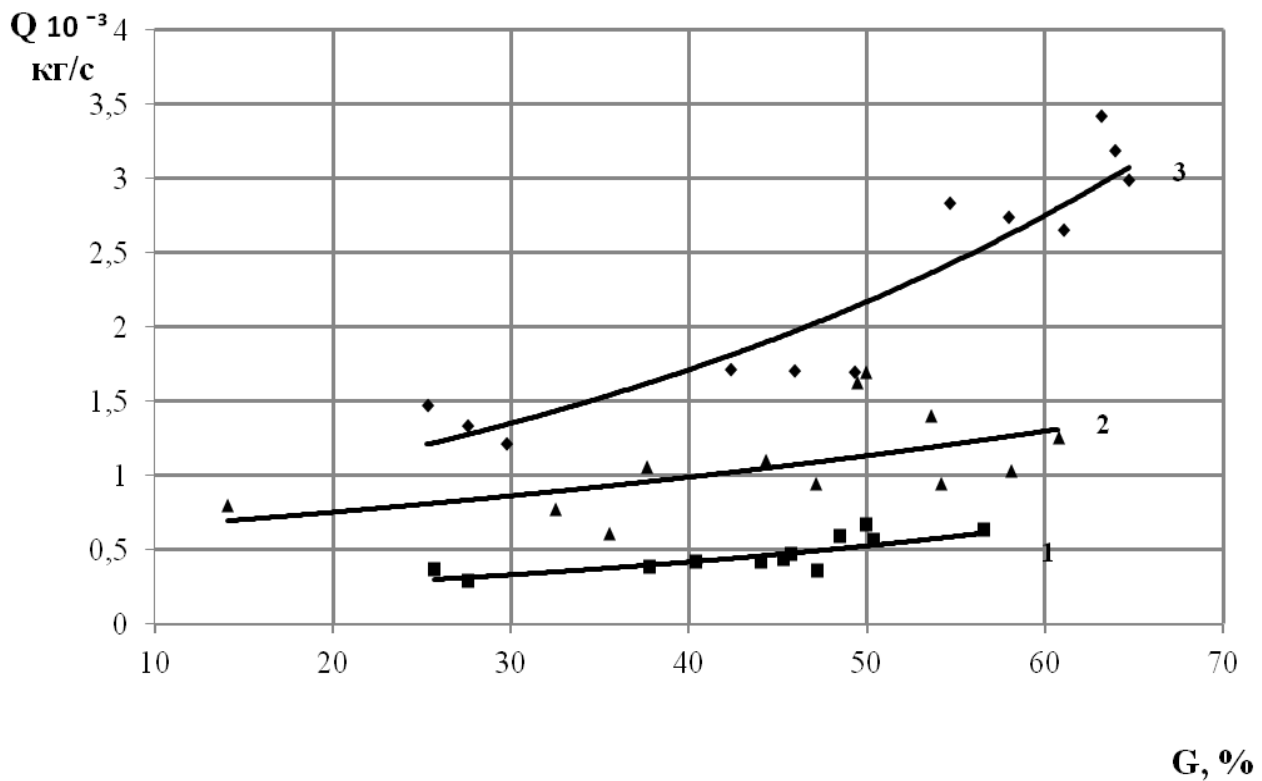


Рис.3.5. Залежність масової продуктивності під час формування через щілинний канал за різного вмісту газової фази та відповідного тиску пресування: 1—0,1 МПа; 2— 0,2 МПа; 3—0,3 Мпа

Відповідне єдине рівняння, яке описує залежність масової продуктивності від вмісту газової фази для всіх значень тиску пресування в дослідженому діапазоні

$$Q = 0.0997e^{6.928P}G^{0.02}$$

Під час екструдювання за тиску 0,3 МПа спостерігаємо стрімке збільшення масової продуктивності.

Нами досліджено і зміну коефіцієнта розширення тістового джгута, який визначали як відношення площі перерізу сформованої тістової стрічки до площі перерізу щілини матриці (рис3.6).

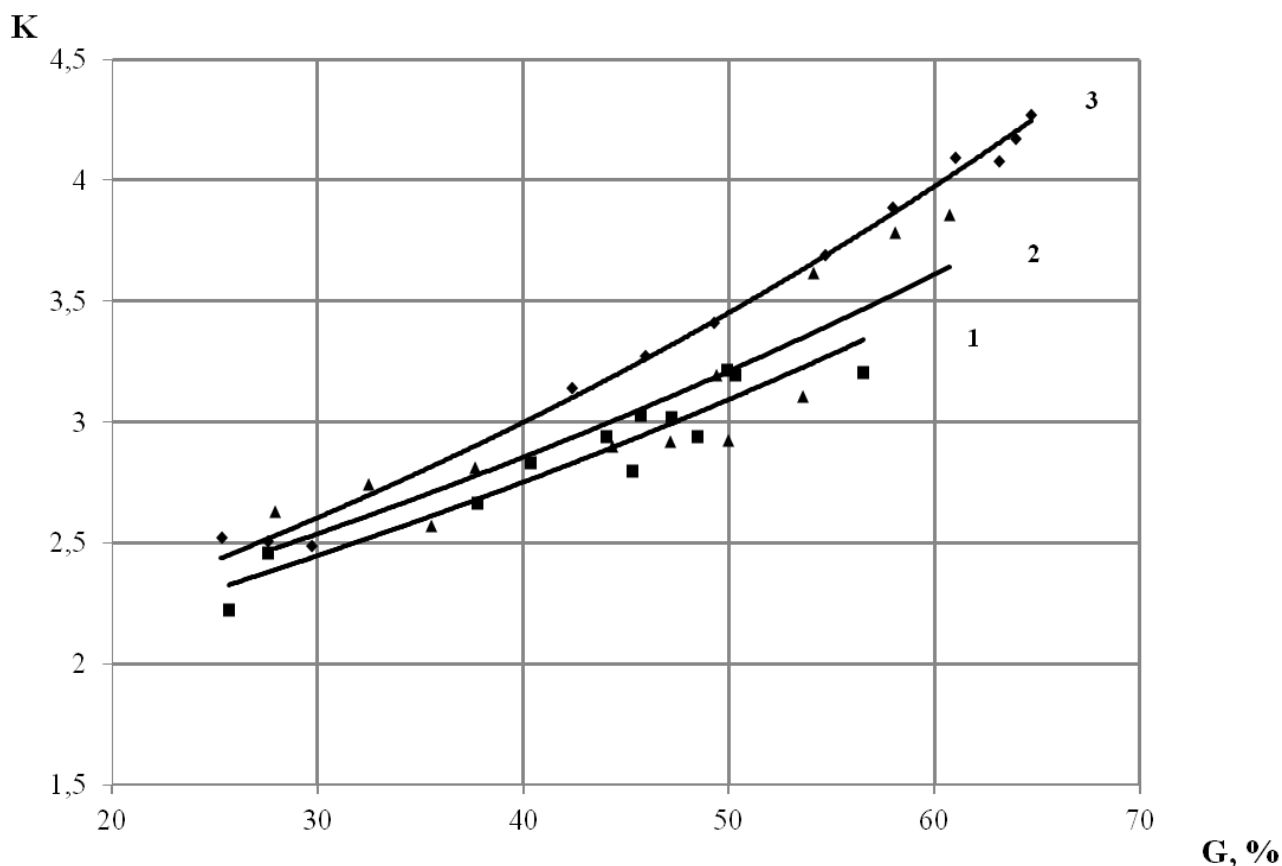


Рис. 3.6. Залежності коефіцієнта розширення тістової стрічки від вмісту газової фази та тиску: 1— 0,1 МПа; 2— 0,2 МПа; 3— 0,3 Мпа.

Залежність коефіцієнта розширення в дослідженому діапазоні вмісту газової фази та тиску пресування описуємо єдиним рівнянням:

$$K = (0,08P + 1.743)e^{0.0125G}$$

За рахунок збільшення вмісту газу в тісті його просторова структура руйнується, знижується його в'язкість, що унеможлиблює його відновлення. За збільшення вмісту газової фази від 25% до 65% площа перерізу тістової стрічки збільшуються в два рази в порівнянні з площею перерізу щілини формування.

3.3. Дослідження якості готового продукту, отриманого екструдуюванням через щілинний канал

Одним із якісних показників готового продукту є пористість. Однією із вимог вона має бути рівномірною та дрібнозернистою.



Рис.3.7. Готові галети після випікання.

Пористість тонких виробів визначити експериментальним шляхом неможливо, оскільки немає методик та приладів для визначення пористості тонких виробів.

Для дослідження пористості нами використано програмного комплексу ImageJ – програма з відкритим вихідним кодом для аналізу та оброблення зображень. Зрізи дослідних зразків після випікання і охолодження фотографували (рис.3.8).



Рис.3.8. Зрізи дослідних зразків з різним вмістом газу та тиску екструджування

Фото обрізали за розміром та обробляли за допомогою програмного комплексу ImageJ (рис.3.9).

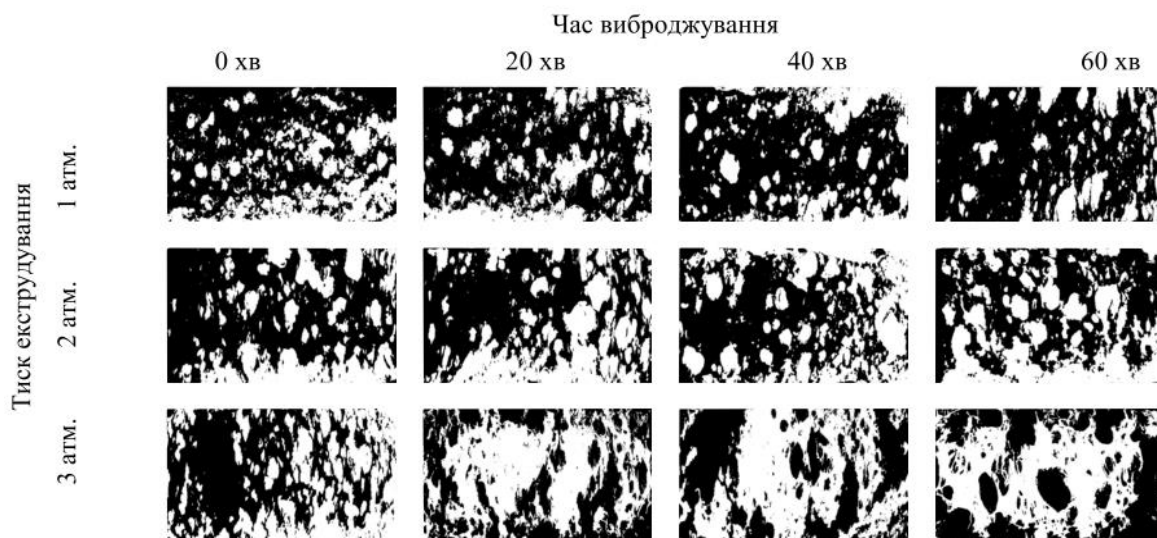


Рис.3.9.Зрізи готових виробів після опрацювання

Програмний комплекс ImageJ дозволяє підрахувати кількість пор на зрізі, їх розмір та відсотковий розподіл значень, такої точності аналізу стану пористості виробу ми не можемо досягти ніякими іншими методиками досліджень.

За дослідними значеннями отримали залежність величини пористості від тривалості бродіння тіста в камері та тиску пресування рис.3.10.

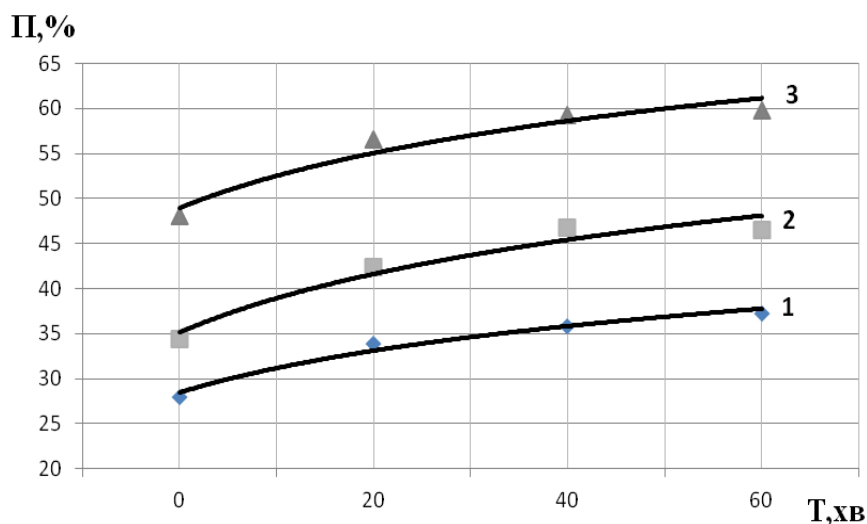
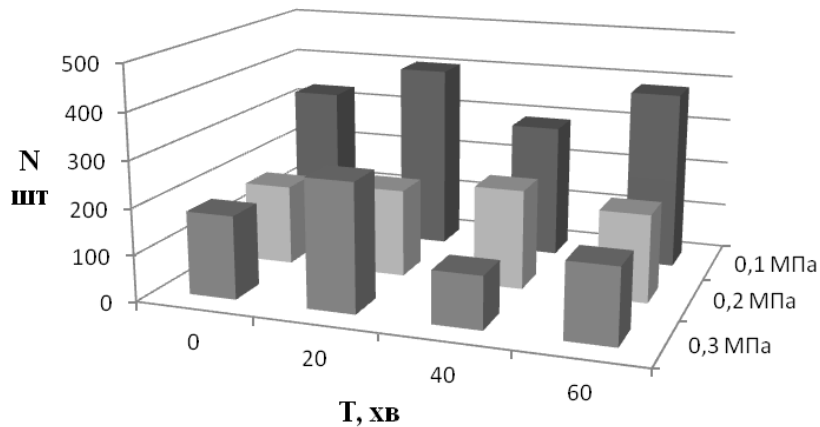


Рис. 3.10. Залежність величини пористості готових виробів від тривалості бродіння та тиску пресування: 1— 0,1 МПа; 2— 0,2 МПа; 3— 0,3 Мпа.

Якісна пористість, дрібнозерниста та рівномірно розподілена досягається під час екструдювання під тиском 2 атм та 40 хв бродіння тіста в камері. Ці зразки пористістю $\Pi=45\%$ та середнім розміром пор. За тиску 0,1 МПа та без бродіння пори розподіляються досить рівномірно, але досить малого розміру та займають малу площу в перерізі готового виробу. Зі збільшенням тривалості бродіння збільшується кількість великих пор, і порушується рівномірність. За тиску 0,3 МПа та збільшення тривалості бродіння пористість стає досить нерівномірною, в деяких місцях утворюються пори великого розміру, за рахунок збільшення газової фази та руйнування клейковинового каркасу тіста. Якість виробу погіршується, збільшується крихкість.



3.11. Розподіл пористості готового виробу

4. Практичне впровадження результатів досліджень

4.1. Техніко-економічне та соціальне обґрунтування проекту

На продовольчому ринку України представлено вітчизняних виробників, які забезпечують населення країни необхідними продуктами харчування. А особливістю українського ринку хлібобулочних виробів є майже стовідсоткове задоволення попиту продукцією вітчизняного виробництва. Що, насамперед, зумовлюється тим, що хлібобулочні вироби мають невеликий термін зберігання.

Продукція більш тривалого зберігання, така як сухарні вироби, до яких ми відносимо і виробництво галет також має свого споживача, особливо це актуально в нинішніх умовах військового стану, тому дослідження мають соціальне значення.

Нині залишається актуальною проблема з розробки та впровадження нових технологій, інтенсифікація технологічних процесів виробництва, підвищення продуктивності та рентабельності, зниження витрат та покращення якості готової продукції.

В хлібопекарській промисловості особлива увага приділяється процесу замішування та дозрівання тіста до готовності та інтенсифікація процесу бродіння тіста, як найтривалішого, покращення якості готових виробів. Посилене механічне оброблення тіста під час замішування дозволяє вплинути на його структурно механічні показники та зменшити тривалість бродіння тіста без погіршення якості напівфабрикату та готових виробів.

Серед створених нових енерго- та ресурсозберігаючих засобів, значну частку займає інтенсивний процес замішування тіста.

Розроблення та впровадження у виробництво змішувальнобродильноформуального агрегату для виробництва галет дозволить вирішити питання забезпечення пайків військових якісною

хлібопекарською продукцією, що є важливим соціальним ефектом даної роботи.

Технічний ефект полягає в створенні потово-механізованої лінії виробництва, яка дозволяє виконувати всі операції тістоготування, формування та розпушення тістових заготовок в одному агрегаті, що дозволить повністю механізувати та автоматизувати виробничі процеси.

Економічна ефективність даної розробки полягає в заміні великої кількості різних за призначенням та дороговартісних машин для замішування, бродіння та оброблення тіста (тістомісильна машина, ємності для бродіння, формувальних машин, обладнання для попереднього та остаточного вистоювання), збільшити вихід виробів за рахунок зменшення втрат на бродіння та механічних втрат напівфабрикату на кожній одиниці обладнання. Створення компактної лінії призведе до економії виробничих площ. Крім того, зменшення кількості обладнання призведе до зменшення витрат енергії за рахунок суттєвого зменшення кількості електродвигунів.

Агрегат 3 оснащений додатковими елементами: дозатором рідких компонентів 1, дозатором борошна 2, гільйотинним механізмом та тунельною стрічковою піччю 5.

Більш детально ознайомитися з роботою агрегату доцільно на розрізі (рис.3.2). Рецептурні компоненти дозуються у камеру попереднього змішування: рідкі - дозувальною станцією та насосом розпилюються в камеру попереднього змішування через форсунку.

В камері попереднього змішування під форсункою встановлюється патрубок для борошна, воно розпилюється за допомогою стисненого повітря і аерозольтранспортом через патрубок спеціальної конструкції.

Камера основного замішування – це спарена циліндрична ємність, в якій паралельно розміщені два вали на опорах.

Утворена в камері попереднього змішування крихтоподібна тістова маса потрапляє в камеру основного замішування де продовжується перша стадія замішування тіста: рівномірне розподілення сипких та рідких компонентів, для цієї стадії використовуємо перфорований шнек, оскільки потоки продукту, які виникають під його впливом максимально сприяють процесу змішування компонентів, їх рівномірного розподілу та утворення рівномірної структури без грудочок.

Друга стадія - власне замішування, характеризується дифузійними процесами в тістовій масі, вирівнюванням вологи вихідних компонентів, переходом у розчин розчинних частин борошна. Для виконання цієї стадії замішування використовується кулачковий робочий орган.

На третій стадії – пластифікації, необхідно надати тістовій масі посиленого механічного впливу. Тому для замішування тіста продовжується кулачковими робочими органами, які забезпечують інтенсивне промішування тістової маси. Для нагнітання тіста в камеру бродіння використовується шнек з кроком, що зменшується.

Об'єм камери бродіння розраховано на тривалість перебування тіста, яка необхідна для накопичення кількості вуглекислого газу, достатнього для розпушення тістових заготовок перед випіканням. Зазвичай, цей час складає 20-30 хв. , що в два рази менше тривалості вистоювання тістових заготовок за традиційного способу виробництва, внаслідок зменшення втрат вуглекислого газу.

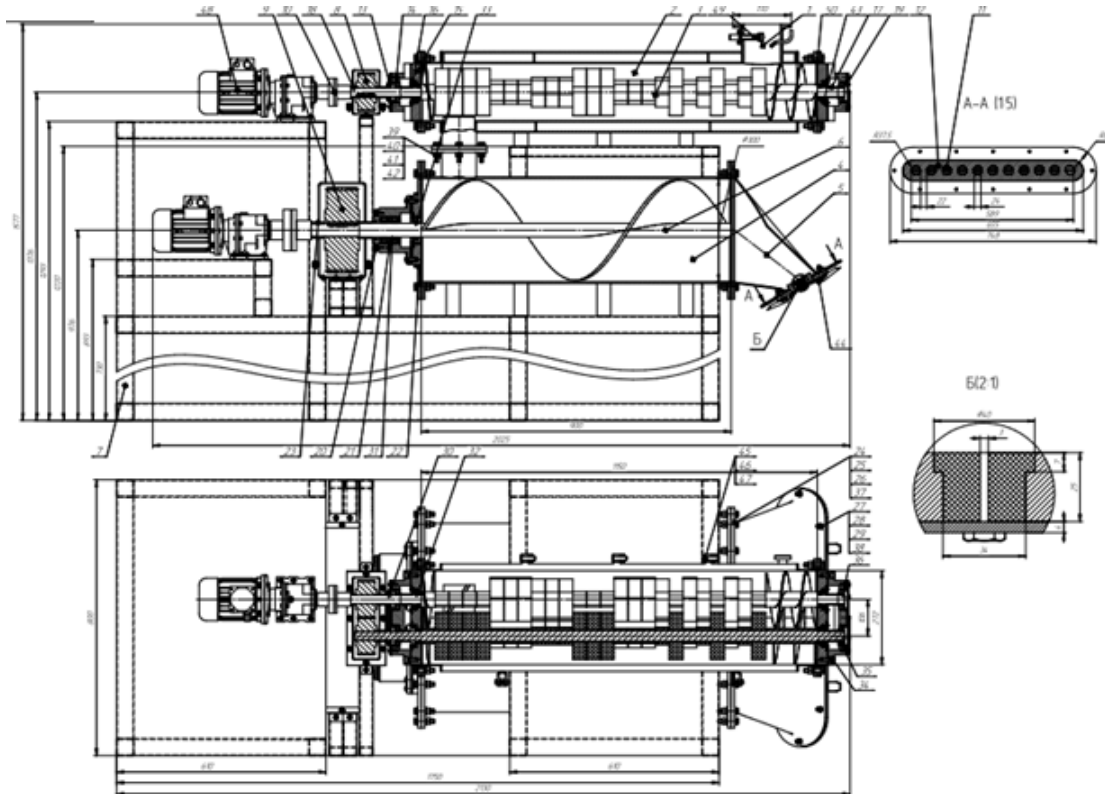


Рис. 4.2 Розріз агрегату

В спареній камері бродіння встановлено два вали шнеків з великим кроком (фактично два витки по всій довжині) та невеликою кількістю обертів, для створення спрямованого руху тіста, зачищення стінок камери, щоб ліквідувати зони застоювання і перекидання тіста. Після бродіння тістова маса спрямовується на щілинні формувальні канали матриці, екструдується безпосередньо на під печі у вигляді безперервних тістових полосок.

Розпушення тістових стрічок відбувається на виході із формувальної щілини за рахунок накопиченого на попередній стадії вуглекислого газу. Також на виході із щілинного формувального каналу матриці відновлюється

структура в'язко-пружного середовища, до якого відносимо тістову масу, збільшення поперечних параметрів заготовки. Якщо випікається безперервний тістовий джгут, то після випікання передбачає нарізання в потоці готового виробу на окремі скибки.

Над подом хлібопекарської печі встановлено гільйотинний механізм, який розрізає безперервний джгут на окремі заготовки. Спрацьовує гільйотинний механізм від пневмоприводу.

Технічний результат забезпечується поєднанням технологічних операцій замішування, бродіння, формування і розпушення в конструкції одного агрегату безперервної дії, що значно скорочує кількість обладнання та спрощення машино-апаратурної схеми, виробничих площ, економії електроенергії за рахунок зменшення кількості електроприводів машин, зниження витрат на експлуатацію обладнання та втрат сировини і збільшення виходу продукції, що в кінцевому підсумку приводить до зниження собівартості продукції.

Агрегат дозволяє формувати вироби (а саме галети) з дріжджового тіста без додаткового оброблення безпосередньо на під печі.

Суміщення процесів замішування бродіння, формування і розпушення в одному агрегаті дозволяє скоротити машино-апаратурну схему, виробничі площі, зменшити час виробництва виробів за рахунок виключення ряду операцій та витрати на утримання і експлуатацію обладнання і, як наслідок,

4.3. Розрахункова частина

Розрахунок продуктивності змішувально-бродильно-формуального агрегату

Провідним обладнанням у лінії по виробництву хлібобулочних виробів є піч, тому все обладнання (в тому числі і бродильно-формуальний агрегат) підбирають та розраховують, виходячи з продуктивності печі по даному виду виробу – багети. Для розрахунку обираємо циклотермічну

кондитерську піч польської фірми «Rem-Piek» WSL-8090, яка має такі параметри:

довжина поду печі, мм - $L = 15000$

ширина поду печі, мм - $B = 600$

Додаткові дані для розрахунку продуктивності печі по багетам:

діаметр виробу, 40 мм

час випікання виробу у печі, хв. - $\tau = 10$

зазор між рядами виробів, мм - $a = 2$



Рис.4.1. Піч польської фірми «Rem-Piek» WSL-8090

Таблиця 4.1

Характеристика печі WSL-8090

поверхня випікання м ²		9
Габаритні розміри мм	довжина тунелю	15000
	ширина	1600
	макс. висота з трубою	2830
ширина стрічки, мм		600
час випікання хв.	мін.	4
	макс.	15
напруга живлення		3x220/380В;50Гц
макс. температура випікання		280
встановлена потужність КВт		10
маса печі,кг		9000

1. Кількість багетів в ряду по довжині поду печі:

$$N = \frac{L - a}{l + a} = \frac{15000 - 2}{120 + 2} = 123 \quad (\text{шт}),$$

де L – довжина конвеєра в пекарній камері;

a – зазор між джгутами;

l – довжина заготовки,

2. Кількість виробів в ряду тунельної печі:

$$n = 8 \quad (\text{шт.}),$$

3. Годинна продуктивність печі, кг/год:

$$P_{\text{год}} = \frac{N \cdot n \cdot g}{\tau} \cdot 3600 = \frac{123 \cdot 8 \cdot 0,015}{600} \cdot 3600 = 88,6 \quad (\text{кг/год});$$

G - маса виробу, кг.

4. Швидкість руху транспортера, м/с;

$$v = \frac{L}{\tau \cdot 60 \cdot 1000} = \frac{15000}{10 \cdot 60 \cdot 1000} = 0,025 \quad (\text{м/с}),$$

5. Продуктивність ЗБФА відносно продуктивності печі, кг/год:

$$P_{\text{м}} = P_{\text{п}} \cdot k_0 \cdot (100 + y) \cdot 0,01 = 88,6 \cdot 1,1 \cdot (100 + 15) \cdot 0,01 = 112,1 \quad \text{кг/год.}$$

де $P_{\text{п}}$ – продуктивність печі по гарячому хлібу, кг/год;

y – упікання, % до гарячого хліба;

k_0 – коефіцієнт, враховуючий можливі зупинки на регулювання та очищення (1,1-1,2).

6. Секундна продуктивність ЗБФА в зоні замішування враховуючи геометричні параметри шнека, кг/с:

$$P_{\text{с1}} = z \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} s \cdot n \cdot \rho \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,3^2 - 0,22^2)}{4} \cdot 0,150 \cdot 0,5 \cdot 1400 \cdot 0,2 \cdot 0,15 \cdot 0,55 = 0,113$$

кг/с.

7. Секундна продуктивність ЗБФА в зоні пластифікації враховуючи геометричні параметри шнека, кг/с:

$$P_{c2} = z \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot s \cdot n \cdot \rho \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = 2 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,3^2 - 0,22^2)}{4} \cdot 0,05 \cdot 0,5 \cdot 1400 \cdot 0,2 \cdot 0,15 \cdot 0,55 = 0,037$$

кг/с.

k_1 - коефіцієнт подачі, залежить від форми лопатей та їх розміщення на валу ($k_1 = 0,2 - 0,5$)

k_2 - відношення сумарної поверхні лопатей до гвинтової поверхні того ж діаметру та кроку ($k_2 = 0,15 - 0,2$)

k_3 - коефіцієнт, який враховує площу перерізу, яка утворюється перетином траєкторій руху лопатей (для двох вального агрегату $k_3 = 0,55 - 0,7$).

8. Рахуємо годинну продуктивність ЗБФА по зоні пластифікації тіста:

$$P_{ЗБФА} = P_{c2} \cdot 3600 = 0,037 \cdot 3600 = 133,2 \text{ кг/ГОД.}$$

Розрахунок геометричних параметрів агрегату

1. Розраховуємо об'єм бродильної ємкості, виходячи із значення секундної продуктивності екструдера та часу, який тісто знаходиться у бункері:

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

де: $P_{с.} = 0,037$ кг/с;

$\tau_{брод.} = 60$ хв. = 3600 с;

$\rho_{тіста} = 1400$ кг/м³.

$$V_{б.е.} = \frac{0,037 \cdot 3600}{1400} = 0,095 \text{ м}^3.$$

Виходячи з того, що об'єм ємкості (бродильного бункера)

визначається за формулою $V = \frac{1,6 \cdot \pi \cdot D^2}{4} \cdot l$, задавшись діаметром поперечного перерізу можемо визначити довжину бродильного бункера.

$$\text{Так при: } l = \frac{V \cdot 4}{1,6 \cdot \pi \cdot D^2}$$

$$l = \frac{0,095 \cdot 4}{1,6 \cdot 3,14 \cdot 0,3^2} = 0,84 \text{ м}$$

2. Розраховуємо об'єм камери де відбувається замішування та пластифікація тіста:

$$V = \frac{P_{c2} \cdot \tau}{\rho} = \frac{0,037 \cdot 1200}{1400} = 0,032 \text{ м}^3$$

τ – час замішування тіста, $\tau = 20 \text{ хв.} = 1200 \text{ с.}$

Довжину робочої камери можна визначити з формули:

$$L = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot (1,6 \cdot D^2 - d^2) \cdot \varphi}$$

Тут:

φ - коефіцієнт заповнення місильної ємкості (0,5 - 0,7);

$$L = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot (1,6 \cdot D^2 - d^2) \cdot \varphi} = \frac{4 \cdot 0,032}{3,14 \cdot (1,6 \cdot 0,3^2 - 2 \cdot 0,22^2) \cdot 0,7} = 1,2 \text{ м}$$

Розрахунки апарату на міцність

Визначення товщини стінки екструдера

Тиск, що діє в апараті, Па:

$$P = 0,2 \cdot 10^6$$

Внутрішній діаметр циліндричної оболонки D_1 , м

$$D_1 = 0,3$$

Допустиме напруження матеріалу 12X18H10T стінки апарату σ_p ,

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

Надбавка на корозію до товщини стінки δ , м

$$\delta = 0,002$$

Знаходимо допустиме напруження матеріалу стінки на розтяг:

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

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

$$\sigma = 510 \cdot 10^6 / 4 = 1,27 \cdot 10^8.$$

Розраховуємо товщину стінки апарату δ_1 , м:

$$\delta_1 = \frac{P \cdot D_1}{[2 \cdot \beta \cdot [\sigma]] - P} + \delta = \frac{0,2 \cdot 10^6 \cdot 0,3}{2 \cdot 0,85 \cdot 127 \cdot 10^6 - 0,2 \cdot 10^6} + 0,002 = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Приймаємо товщину стінки екструдера за стандартом більшу за розрахункову $\delta_1 = 0,004 \text{ м}$.

Розрахунок шнека

Розраховуємо і конструюємо шнек, якщо відомий максимальний тиск в робочій камері $P_{\text{MAX}}=0,2(\text{МПа})$, коефіцієнт внутрішнього тертя продукту

$$f = 0,3, \text{ щільність продукту } \rho = 1400 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right).$$

Зовнішній діаметр шнеку D приймаємо рівним 300 мм, внутрішній $d = 220 \text{ мм}$ а крок шнеку приймаємо конструктивно 50 (мм).

Кут підйому гвинтових ліній на зовнішній стороні шнека і біля валу визначаємо за наступними формулами:

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

$$\alpha_D = \arctg\left(\frac{0,03}{3,14 \times 0,5}\right) = \arctg 0,043 = 2^\circ 46'$$

$$\alpha_d = \arctg\left(\frac{0,09}{3,14 \times 0,2}\right) = \arctg 0,716 = 55^\circ 4'$$

Середнє значення кута підйому гвинтових ліній витку шнеку визначаємо за формулою:

$$\alpha_{CP} = 0,5 \cdot (\alpha_D + \alpha_d) = 0,5 \cdot (2^\circ 46' + 55^\circ 4') = 29^\circ$$

Допоміжні величини становлять:

$$\cos^2 29^\circ = 0,99^2 = 0,76, \quad \text{tg } 29^\circ = 0,55, \quad \sin 2 \times 29^\circ = 0,84$$

Коефіцієнт відставання часток матеріалу у осьовому напрямку:

$$K_0 = 1 - (\cos^2 \alpha - 0,5 \cdot f \cdot \sin 2\alpha) = 1 - (0,76 - 0,95 \cdot 0,3 \cdot 0,84) = 0,479$$

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

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

де P_{MAX} - максимальний тиск, який створює шнек; $a = \frac{D}{d}$ - відношення

діаметрів шнека і валу, $a = \frac{300}{220} = 1,4$

$$M_3 = \frac{0,2 \cdot 10^6 \cdot 0,3^2}{32} \cdot \frac{1,9 - 0,7 \cdot 1,4^{-4} - 1,2 \cdot 1,4^{-2} - 5,2 \ln 1,4}{1,3 + 0,7 \cdot 1,4^{-2}} = 218,6 (H \cdot m^2)$$

Витки шнеку будуть виготовлені із 12X18H10T, для якої допустиме напруження при згині можемо прийняти рівним допустимому напруженню при розтягу, тобто $125 \cdot 10^6$ (Па). Тоді товщину витка шнеку визначаємо за формулою:

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

$$\delta = \sqrt{\frac{6 \cdot 218,6}{125 \cdot 10^6}} = 0,003 = 3 (мм)$$

приймаємо $\delta = 4 (мм)$

Крутний момент при робочих витках шнеку визначаємо за наступною формулою:

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

де m - число максимально навантажених кроків шнека; Ko - коефіцієнт відставання; P_{MAX} - максимальний тиск, який розвиває шнек, α - кут підйому гвинтової лінії витку шнеку, $\alpha = 30^\circ$

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

де f - коефіцієнт тертя продукту по шнеку.

$$Ko = 1 - (0,76 - 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,86) = 0,369$$

$$M_{KP} = 0,131 \cdot 2 \cdot (1 - 0,369) \cdot 0,2 \cdot 10^6 \cdot (0,3^3 - 0,22^3) \cdot 0,57 = 308,2 (H \cdot m)$$

Осьове зусилля визначаємо по формулі:

$$S = 0,392 \cdot m \cdot (D^2 - d^2) \cdot P_{MAX} = 0,392 \cdot 2 \cdot (0,3^2 - 0,22^2) \cdot 0,2 \cdot 10^6 = 6522,9 (H)$$

Нормальні і дотичні напруження валу визначаємо по формулам:

$$\sigma_{СЖ} = \frac{S}{F} = \frac{6522,9}{0,5 \cdot 0,1^2} = 1,3(\text{МПа})$$

$$\tau = \frac{M_{КР}}{W_p} = \frac{307,2}{3,14 \cdot 0,1^3} = 0,1(\text{МПа})$$

Еквівалентне напруження визначаємо за формулою:

$$\sigma_{ЕКВ} = \sqrt{\sigma_{СЖ}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{1,3^2 + 4 \cdot 0,1^2} = 1,3(\text{МПа})$$

і це напруження знаходиться в межах допустимої напруги для матеріалу валу шнека (сталь 12Х18Н10Т).

Для полегшення конструкції шнеку замість суцільного валу можна взяти порожній вал. Наприклад, в даному випадку можемо використати трубу. Нормальні і дотичні напруження порожнього валу визначаємо по формулам:

$$\sigma_{СЖ} = \frac{S}{F} = \frac{6522,9}{0,5 \cdot (0,1^2 - 0,09^2)} = 6,9(\text{МПа})$$

$$\tau = \frac{M_{КР}}{W_p} = \frac{307,2}{\frac{3,14 \cdot (0,1^3 - 0,09^3)}{16}} = 5,8(\text{МПа})$$

Еквівалентне напруження визначаємо за формулою:

$$\sigma_{ЕКВ} = \sqrt{\sigma_{СЖ}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{6,9^2 + 4 \cdot 5,8^2} = 13,5(\text{МПа})$$

Отримане значення напруги більше раніше знайденого, та менше допустимого.

Розрахунок підшипників

Підбір радіально-упорного роликопідшипника відбувається за наступними даними: частота обертання валу $n = 30$ об/хв; посадочний діаметр валу під підшипник $d = 95$ мм; коефіцієнт обертання кільця $V = 1$; коефіцієнт безпеки $K_6 = 1,2$; температурний коефіцієнт $K_T = 1,05$; необхідна довговічність $L_h \geq 26000$ год

Попередньо приймаємо підшипник серії 1027319А за ГОСТ 27365-87, який має такі характеристики:

динамічна вантажопід'ємність $C = 96600$;

статична вантажопід'ємність $C_0 = 75900$;

кут контакту $\alpha = 12^\circ$

Осьова складова радіальних навантажень для підшипника

$$F_s = 0.83 \cdot e \cdot F_r = 0.83 \cdot 0.319 \cdot 3157.135 = 835,915H$$

$$\text{Де: } e = 1.5 \cdot \tan \alpha = 1.5 \cdot \tan 12^\circ = 0.319$$

Розрахункове осьове навантаження

$$F_a = F_s + F_{ab} = 835,915 + 9520.7 = 10356,615 H$$

Виразуємо співвідношення:

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} = \frac{10356,615}{1 \cdot 3157.135} = 3.28 > e = 0.31$$

Приймаємо коефіцієнти радіальної і осьової навантажень:

$$X = 0.4 ; Y = 0.4 \cdot \operatorname{ctg} \alpha = 0.4 \cdot \operatorname{ctg} 12^\circ = 1,882$$

Еквівалентне динамічне навантаження на підшипник

$$P = (X \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot K_b \cdot K_T$$

$$P = (0.4 \cdot 3157.135 + 1,882 \cdot 10356.615) \cdot 1.2 \cdot 1.05 = 26150,5H;$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^m = \frac{10^6}{60 \cdot 45} \cdot \left(\frac{96600}{26150,5}\right)^{\frac{10}{3}} = 28861,48 \text{ год}$$

Де: $m=10/3$

Номінальна довговічність вибраного підшипника більша за строк служби передачі. Отже даний вибір підшипника є вірним.

Підбір мотор-редуктора та кінематичний розрахунок приводу машини

Вихідні дані:

Потужність на шнеку $N = 1,8$ кВт;

Частота обертання шнеку – $n_{\text{вих}} = 30$ об/хв.;

Термін служби – 4 років;

Число робочих змін за добу – 3.

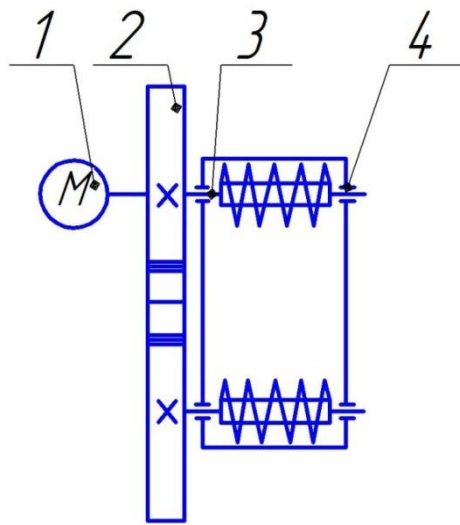


Рис.4.2.. Кінематична схема приводу тістомісильної машини

1.Мотор-редуктор; 2. Зубчаста передача; 3.Вал; 4. Підшипникова опора.

1. Робота, яка витрачається на перемішування маси без урахування витрат на нагрів маси за рахунок тертя:

$$A_1 = a \cdot b \cdot \pi \cdot \rho_t \cdot n^2 \cdot \sin \alpha \cdot (r_2^2 - r_1^2) \cdot \left[(1 - k) \cdot \pi^2 \cdot (r_2^2 + r_1^2) + k \cdot \frac{S^2}{2} \right] = 2 \cdot 0,3 \cdot 3,14 \cdot 1400 \cdot 0,5^2 \cdot \sin 45 \cdot (0,15^2 - 0,11^2) \cdot \left[(1 - 0,108) \cdot 3,14^2 \cdot (0,15^2 + 0,11^2) + 0,108 \cdot \frac{0,05^2}{2} \right] = 1,8$$

Дж

a – кількість шнеків, шт..

b – ширина шнеків, м.

r_1 - відстань від осі обертання до початку шнеку, м.

r_2 - відстань від осі обертання до кінця шнеку, м.

k – коефіцієнт подачі тіста для шнеку.

S – крок шнеку, м.

2. Робота на переміщення шнека

$$A_2 = \frac{2}{3} \cdot a \cdot b \cdot \delta \cdot \rho \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot (r_2^3 - r_1^3) = 0,7 \cdot 2 \cdot 0,3 \cdot 0,4 \cdot 1400 \cdot 3,14^2 \cdot 0,5^2 \cdot (0,15^3 - 0,11^3) = 1,2$$

Дж

δ – товщина шнеку, м.

3. Робота на нагрів тіста і металевих частин машини, що з ним контактують:

$$A_3 = 124 \cdot a \cdot \mu \cdot n \cdot \left(\frac{r_2^4 - r_1^4}{l} + 2 \cdot \frac{r_2^3 \cdot b \cdot \sin \alpha}{f} \right) = 124 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{0,15^4 - 0,11^4}{0,001} + 2 \cdot \frac{0,15^3 \cdot 0,3 \cdot \sin 45}{0,001} \right) = 2221,7$$

Дж.

μ - динамічна в'язкість тіста, Па·с.

f – зазор між краями шнеку та стінками місильної камери, м.

4. Робота, яка витрачається на зміну структури тіста:

$$A_4 = (0,05 - 0,1) \cdot A_1 = 0,1 \cdot 1,8 = 0,18 \text{ Дж}$$

5. Розрахунок енергетичного балансу за один оберт шнека:

$$A_5 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 1,8 + 1,2 + 2221,7 + 0,2 = 2224,9 \text{ Дж/об.}$$

6. Питома робота замісу:

$$A_{\text{пр}} = A_5 \cdot \frac{n \cdot \tau}{m_T} = 2224,9 \cdot \frac{0,5 \cdot 1200}{133000} = 10,1 \text{ Дж/г.}$$

$$m_T - \text{маса тіста } m_T = V \cdot \rho = 0,095 \cdot 1400 = 133 \text{ кг.}$$

7. Крутний момент на вихідному валу :

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

$$\text{Тоді: } T_{\text{вих}} = \frac{1800}{3,14} = 573,24 \text{ Нм.}$$

8. Потужність двигуна розраховуємо 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 мотор-редуктора (0,8)

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

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

Підбираємо мотор-редуктор за наступними характеристиками: $T_1 = 546$ Нм; $n = 30$ об/хв. $N_{\text{двигуна}} = 3,0$ кВт.

Приймаємо мотор-редуктор SEWEURODRIVE R77DRE112M4/AL, у якого $T_1 = 660$ Нм; $n = 30$ об/хв. $N_{\text{двигуна}} = 3,0$ кВт. $SEW = 1,25$, $m = 71$ кг.; $i = 33,47$.

9. Знаходимо загальне передаточне число привода:

$$u_{\text{пр}} = \frac{n_{\text{двигуна}}}{n_{\text{вих}}} = \frac{1455}{30} = 48,5 ;$$

Передаточне число привода складається з добутку передаточних чисел мотор-редуктора і прямозубої відкритої циліндричної передачі.

$$i_2 = \frac{u_{\text{привода}}}{i_{\text{редуктора}}} = \frac{48,5}{1} = 48,5$$

Оскільки $i_{\text{редуктора}} = 48,5$. Тоді:

Прямозуба передача необхідна для забезпечення сталої кількості обертів другого валу.

10. Розраховуємо 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 $N_4 = 1800$ Вт розподіляється одночасно між двома шнеками.

11. Розраховуємо частоту обертів окремих валів машини:

$$n_1 = n_{\text{дв}} = 1455(\text{об / хв}) ;$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{\text{ред}}} = \frac{1455}{48,5} = 30(\text{об / хв}) ;$$

$$n_3 = n_2 = 30(\text{об / хв}) , \quad n_4 = \frac{n_3}{i_{\text{зуб}}} = \frac{30}{1} = 30(\text{об / хв})$$

12. Визначаємо кутові швидкості на окремих валах машини.

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 1455}{30} = 152,29(\text{рад}/\text{с})$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{i_{\text{ред}}} = \frac{152,29}{48,5} = 3,14(\text{рад}/\text{с})$$

$$\omega_3 = \omega_2 = 3,14(\text{рад}/\text{с}) \quad \omega_4 = \frac{\omega_3}{i_{\text{зуб}}} = \frac{3,14}{1} = 3,14(\text{рад}/\text{с})$$

13. Знаходимо крутні моменти на окремих валах привода :

$$T_4 = 402,59(\text{Н} \cdot \text{м})$$

$$T_3 = \frac{T_4}{\eta_{\text{зуб}} \cdot \eta_n \cdot i_{\text{зуб}}} = \frac{402,59}{0,94 \cdot 0,99 \cdot 1} = 432,61(\text{Н} \cdot \text{м})$$

$$T_2 = \frac{T_3}{\eta_n} = \frac{432,61}{0,99} = 437(\text{Н} \cdot \text{м})$$

$$T_1 = \frac{T_2}{\eta_{\text{ред}} \cdot i_{\text{ред}}} = \frac{432,61}{0,8 \cdot 30,89} = 17,5(\text{Н} \cdot \text{м})$$

Заносимо всі отримані дані в таблицю для подальшої зручності їх використання.

Таблиця отриманих значень

Таблиця 4.2.

Номер Вала	Потужність N,Вт	Частота обертання n,об/хв	Кутові швидкості, рад/с	Крутний момент T, Н·м	Передаточне число
I	2442	1455	152,29	17,5	
II	1954	30	3,14	437	48,5
III	1818	30	3,14	432,61	1
IV	1800	30	3,14	402,59	

14. Визначаємо загальну кількість часів роботи приводу

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

де $c = 8$ - кількість годин у зміні.

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

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

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

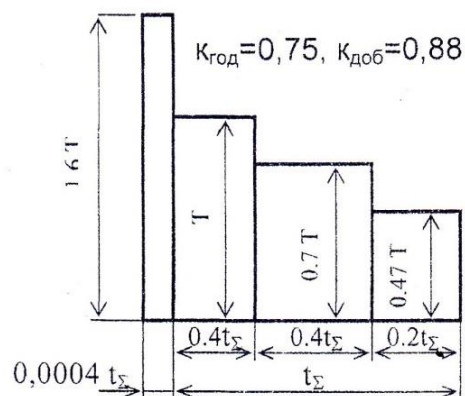


Рис.4.3 Графік навантаження приводу машини

Розрахунок відкритої циліндричної прямозубої передачі

Номінальна потужність, що передається шестернею $N_3 = 1954$ Вт;

Частота обертання шестерні $n_3 = 30$ об/хв;

Передаточне число $u = 1,0$;

Крутний момент на шестерні $T_3 = 573$ Н·м.

Вибір матеріалу і призначення термообробки

Обираємо для шестерні і для колеса Сталь 45 ;

Термообробка – нормалізація.

Для шестерні:

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

Для колеса:

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

Допустимі напруження згину

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

де $\sigma_{F \text{ limb}}$ — границя витривалості зубців при згині, що відповідає базовому числу 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, що враховує характер прикладання навантаження,
 $K_{FC} = 0,65$;

K_{FL} — коефіцієнт довговічності:

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

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

N_{FO} — базове число циклів зміни напружень:

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

N_{FE} — еквівалентне число циклів навантаження зубців за термін

служби передачі :

$$N_{FE} = 60 \cdot n_3 \cdot t_{\text{екс}}$$

де n — частота обертів вала шестерні, $n_3 = 30$ об/хв

$$N_{FE} = 60 \cdot n_3 \cdot t_{\text{екс}} = 60 \cdot 30 \cdot 12903 = 23,22 \cdot 10^6 \text{ циклів}$$

$N_{FE} > N_{FO}$, 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, що враховує чутливість матеріалу та концентрації напружень, $Y_S = 1$.

Y_R — коефіцієнт, що враховує шорсткість перехідних поверхонь зубців, $Y_R = 1$.

Допустимі напруження згину для зубців 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 згину при максимальних навантаженнях:

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

$\sigma_{F \text{ limM}}$ — граничне

напруження, що не викликає остаточних деформацій або крихкого злому.

$$\sigma_{F \text{ limM1}} = 4,8 \cdot HB = 4,8 \cdot 175 = 840 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{F \text{ limM2}} = 4,8 \cdot HB = 4,8 \cdot 165 = 792 \text{ МПа}$$

$$S_F — \text{коефіцієнт безпеки, } S_{FM} = 2,625$$

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

$$[\sigma_F]_{\max} = \frac{840}{2,625} \cdot 1 = 320 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_F]_{\max} = \frac{792}{2,625} \cdot 1 = 301,7 = 300 \text{ МПа}$$

Допустимі граничні контактні напруження при максимальних навантаженнях.

Визначаються за формулою

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

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

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

Розрахунок зубців на міцність при згині

Попередньо визначаємо величини необхідні для розрахунку:

— Приблизна швидкість зубчастих коліс:

$$v = 0,0125 \cdot \sqrt[3]{N_3 \cdot n_3^2} = 0,0125 \cdot \sqrt[3]{1,954 \cdot 30^2} = 0,15 \text{ м/с}$$

При даній швидкості необхідний ступінь точності передачі – 9-й.

— Коефіцієнт ширини зубчастого вінця при консольному розташуванні опор приймаємо

$$\psi_d = 0,75 \cdot \psi_d^{\max} = 0,75 \cdot 0,7 = 0,525$$

— Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубцям

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

— Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця:

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

— Коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження:

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

— Попередньо приймаємо:

число зубів шестерні $z_1 = 26$, тоді число зубів колеса $z_2 = z_1 \cdot u = 26 \cdot 1 = 26$ шт.

— Коефіцієнти, що враховують форму зубців шестерні і колеса:

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

— Коефіцієнт, що враховує вплив нахилу зуба на його напружений стан:

$$Y_{\beta} = 1$$

Початковий модуль зачеплення:

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_3 \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv} \cdot \cos^2 \beta}{z_1^2 \cdot \psi_d \cdot [\sigma_{F1}]} \cdot Y_{F1} \cdot Y_{\beta}} =$$

$$= \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 437 \cdot 10^3 \cdot 1,13 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 1}{26^2 \cdot 0,525 \cdot 78} \cdot 4,0 \cdot 1} = 5 \text{ мм}$$

Приймаємо $m = 5 \text{ мм}$ Міжосьова відстань $a = 260 \text{ мм}$. Кількість зубців шестерні і колеса $z = 52$ шт.

Ділильні діаметри колеса і шестерні:

$$d_{\omega 1} = d_{\omega 2} = m \cdot z_1 = 5 \cdot 52 = 260 \text{ мм}$$

$$v = \frac{\pi \cdot d_{\omega 1} \cdot n_3}{60000} = \frac{3,14 \cdot 260 \cdot 30}{60 \cdot 1000} = 0,41 \text{ м/с}$$

Ступінь точності передачі – 9, що співпадає з раніше прийнятою.

Перевірочний розрахунок зубців на міцність при згині під дією максимального навантаження

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

Розрахуємо напруження згину в зубцях шестерні:

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

$$\text{де } W_{Ft} = \frac{2 \cdot T_3}{d_{\omega 1} \cdot b_{\omega}} \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv} = \frac{2 \cdot 573 \cdot 10^3}{260 \cdot 80} \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 1,2 = 89,3 \text{ МПа}$$

$$b_{\omega} = \psi_d \cdot d_{\omega 1} = 0,525 \cdot 260 = 136,5 = 80 \text{ мм}$$

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

$$\sigma_{F1} = 4 \cdot 1 \cdot \frac{89,3}{5} = 71,44 \text{ МПа} < [\sigma_{F1}] = 78 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \cdot \frac{Y_{F2}}{Y_{F1}} = 71,44 \text{ МПа} < [\sigma_{F2}] = 74 \text{ МПа}$$

Напруження згину від максимального навантаження:

$$\sigma_{F1\max} = 71,44 \cdot 2 = 142,88 \text{ МПа} < [\sigma_{F1}]_{\max} = 320 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{F2\max} = 71,44 \cdot 2 = 142,88 \text{ МПа} < [\sigma_{F2}]_{\max} = 300 \text{ МПа}$$

Перевірочний розрахунок зубців на контактну міцність дією максимального навантаження

Розрахункове напруження від максимального навантаження:

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

Розрахуємо контактне напруження вад 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, що враховує розподіл навантаження між зубцям

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

— Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця:

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

— Коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження:

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

— Коефіцієнт, що враховує форму спряжених поверхонь:

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

— Коефіцієнт, що враховує механічні властивості спряжених коліс:

$$Z_M = 275 \text{ МПа}^{1/2}$$

— Коефіцієнт, що враховує сумарну довжину контактних ліній:

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

$$\varepsilon_{\alpha} = \left[1,88 - 3,2 \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right] \cdot \cos \beta = \left[1,88 - 3,2 \left(\frac{1}{52} + \frac{1}{52} \right) \right] \cdot \cos 0^{\circ} = 1,76$$

$$Z_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_{\alpha}}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,76}{3}} = 0,86$$

$$\sigma_H = 1,76 \cdot 275 \cdot 0,86 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 437 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 1,06}{80 \cdot 260^2} \cdot \frac{1+1}{1}} = 253,2 \text{ МПа}$$

Напруження від максимального навантаження:

$$\sigma_{H \max} = 253,2 \cdot \sqrt{1,6} = 320,3 \text{ МПа} < [\sigma_H]_{\max} = 728 \text{ МПа}$$

Остаточно приймаємо розміри передачі:

$$m = 5 \text{ мм}, z_1 = 52, z_2 = 52, u = 1,0, b_{\omega 2} = 80 \text{ мм}, b_{\omega 1} = 86 \text{ мм}$$

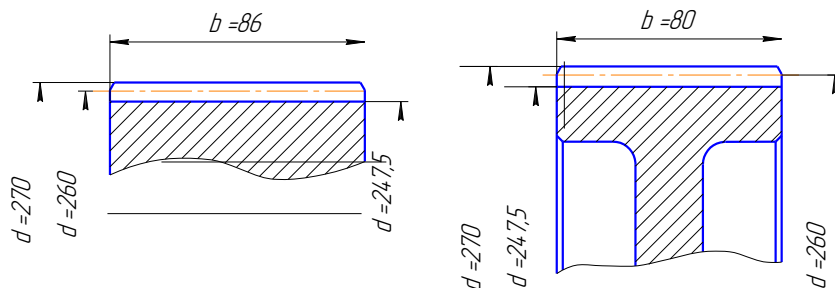


Рис. 4.4. Ескіз зубців прямозубої передачі

Параметри зубчастої передачі

Таблиця 4.3.

Кут нахилу зуба на діаметрі d	$\beta = 0^{\circ}$
Кут зачеплення в	$\alpha_{\omega} = \alpha = 20^{\circ}$

нормальному перерізі	
Кут зачеплення в торцьовому перерізі	$\alpha_{от} = \alpha = 20^\circ$
Міжосьова відстань	$\alpha_\omega = 0,5m \cdot (z_1 + z_2) = 0,5 \cdot 5 \cdot (52 + 52) = 260\text{мм}$
Ділильний і початковий діаметри:	
Шестерні	$d_1 = d_{\omega 1} = m \cdot z_1 = 5 \cdot 52 = 260\text{мм}$
колеса	$d_2 = d_{\omega 2} = m \cdot z_2 = 5 \cdot 52 = 260\text{мм}$
Діаметри вершин зубців:	
Шестерні	$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m = 260 + 2 \cdot 5 = 270\text{мм}$
колеса	$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m = 260 + 2 \cdot 5 = 270\text{мм}$
Діаметри западин:	
Шестерні	$d_{f1} = d_1 - 2,5 \cdot m = 260 - 2,5 \cdot 5 = 247,5\text{мм}$
колеса	$d_{f2} = d_2 - 2,5 \cdot m = 260 - 2,5 \cdot 5 = 247,5\text{мм}$

Підбір пневмоциліндрів для механізму нарізання

Дані для розрахунку:

кут направлення штоку пневмоциліндрів; $\alpha = 270^\circ$;

маса об'єкту, кг; $m = 50$ кг;

корисне навантаження при здійсненні робочого ходу, Н; $F_{кор} = 300$ Н,

тиск живлення пневмомережі, бар; $P = 3$ бар = $3 \cdot 10^5$ Па;

коефіцієнт тертя; $\mu = 0,2$;

коефіцієнт корисної дії механізму; $\eta = 0.9$

Використовуючи методику інженерного розрахунку пневмоциліндрів, за спрощеною формулою, отримаємо:

$$D = 1.13 \cdot \eta \cdot \sqrt{\frac{F}{k_1 \cdot k_2 \cdot P}};$$

Де: k_1 – коефіцієнт тертя в пневмоциліндрі; $k_1 = 0,75 \dots 0,9$;

k_2 – коефіцієнт запасу по зусиллю $k_2 = 0,5 \dots 0,6$;

F – навантаження що діє на шток.

$$F = F_{\text{кор}} + F_G = F_{\text{кор}} + m \cdot g \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha)$$

$$F = 300 + 50 \cdot 9,81 \cdot (\sin 270^\circ + 0,2 \cdot \cos 270^\circ) = 190,5 \text{ Н};$$

Діаметр поршня пневмоциліндра:

$$D = 1,13 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{190,5}{0,8 \cdot 0,6 \cdot 3 \cdot 10^5}} = 0,047 \text{ м};$$

Приймаємо діаметр поршня пневмоциліндра $D = 50 \text{ мм}$;

За отриманими даними обираємо пневмоциліндр фірми Festo DSBC-50-100-PPSA-N3 з робочим ходом 100 мм.

Вибір та перевірочний розрахунок шпонкових з'єднань

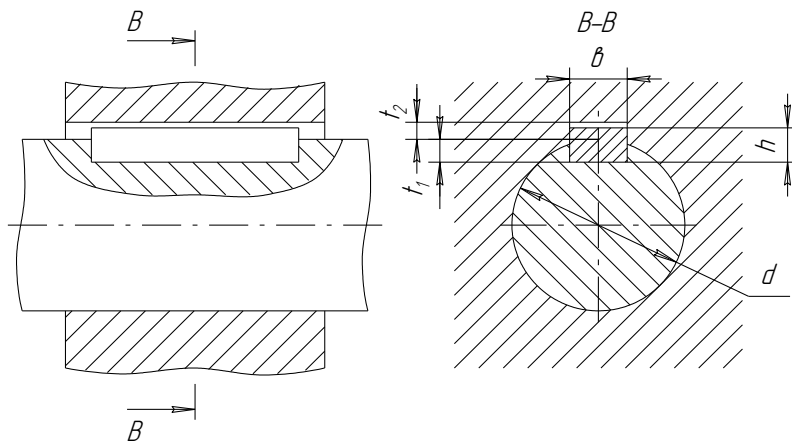


Рис. 4.6 Ескіз шпонкових з'єднань

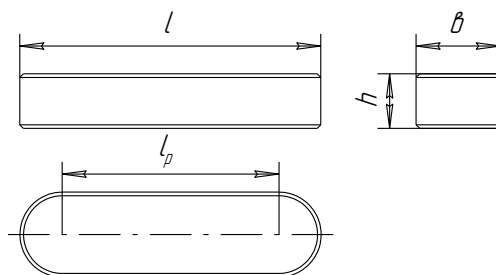


Рис. 4.7 Ескіз призматичної шпонки

Для валу діаметром 60мм, геометричні розміри шпонки:

$$b = 18 \text{ мм}; h = 11 \text{ мм}; l = 45 \dots 180 \text{ мм}; t_1 = 7 \text{ мм}; t_2 = 4,4 \text{ мм}$$

З умови міцності на зріз:

$$\tau_{зр} = \frac{P}{A_{зр}} \leq [\tau_{зр}];$$

Де: $A_{зр} = b \cdot l$ – площа зрізу,

$$P = \frac{2 \cdot T}{d} \text{ – сила що діє в зоні зрізу}$$

Для сталі 40ХН $[\tau_{зр}] = 100 \text{ МПа}$

Тоді:

$$l \geq \frac{2 \cdot 386000}{60 \cdot 18 \cdot 100} = 7,15 \text{ мм}$$

З конструкційних міркувань приймаємо $l = 60 \text{ мм}$

Перевіримо шпонку за умовою міцності на зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{P}{A_{зм}} \leq [\sigma_{зм}];$$

Для сталі 40ХМ $[\sigma_{зм}] = 60 \text{ МПа}$

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 386000}{50 \cdot 90 \cdot 4,4} = 38,9 \text{ МПа} < [\sigma_{зм}] = 60 \text{ МПа}$$

Підбір форсунки для розпилення рідких компонентів

Для розпилення рідких компонентів потрібно підібрати форсунку. Я підібрав форсунку фірми «Lechler» серії 422. Форсунки цієї серії мають ряд особливостей. Вони мають тангенціальний підвід рідини, відсутність вбудованих елементів, нечутливість до забивання форсунки, стабільний кут конуса розпилу, рівномірне розпилення.

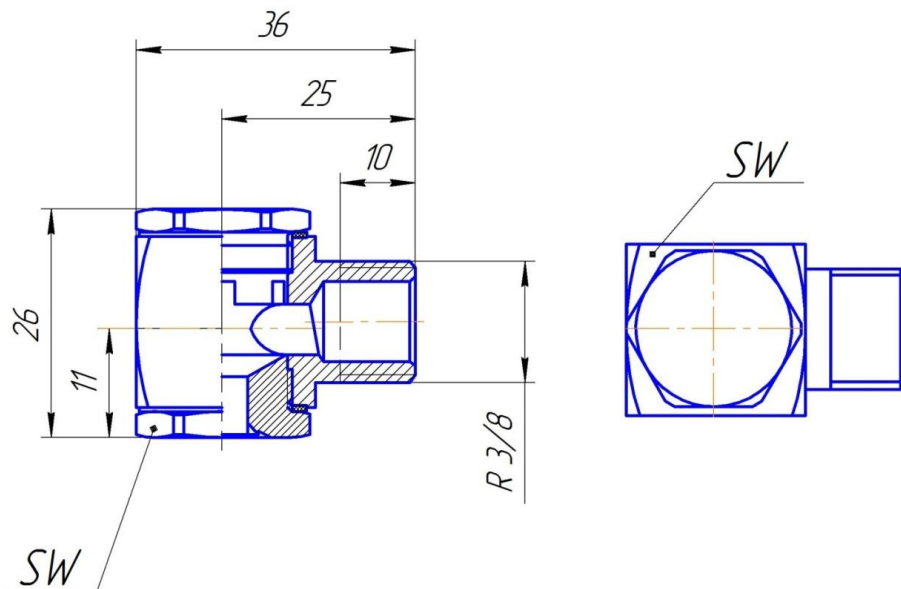


Рис. 4.5. Ескіз форсунки

SW=19

При тиску $P = 1$ бар., буде розпилюватись $V = 2,23$ л/хв. рідини.

Діаметр струменю при $P = 1$ бар та висоті конуса $H = 200$ мм становитиме $D = 380$ мм. Всі данні було взято з каталогу фірми.

Вихід тіста з бродильної ємності в формувальну камеру

Для того щоб тісто розширювалось на всю ширину формувальної камери ми розробили спеціальний вихід який дозволяє тісту заповнити формувальну камеру по всій довжині.

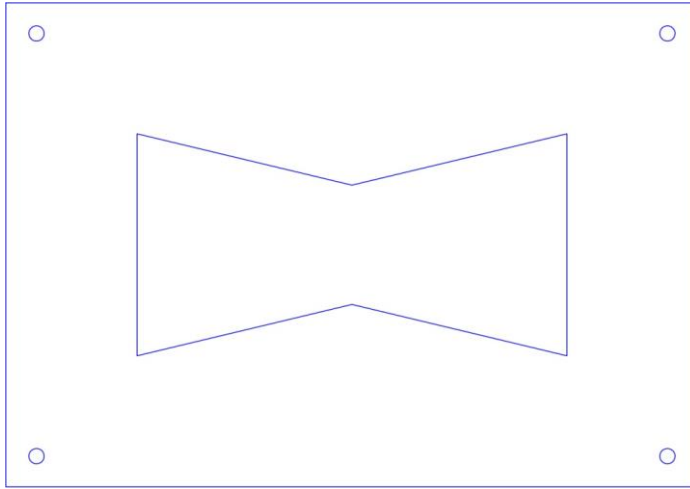


Рис.4.6. Формувальна плита зі щілиною

Коефіцієнт розширення буде дорівнювати $k_p=1,15$

Щоб дізнатись коефіцієнт розширення потрібно розрахувати та порівняти площі щілини та формувальної плити.

Розраховуємо площу щілини:

$$S_{щ} = S_n + (S_m \cdot 4) = 21840 + (2345 \cdot 4) = 31220 \text{ мм}^2$$

$$S_n = 280 \cdot 78 = 21840 \text{ мм}^2$$

$$S_m = \frac{1}{2} \cdot 140 \cdot 33,5 = 2345 \text{ мм}^2$$

Розраховуємо площу формувальної плити:

$$S_{\phi} = 600 \cdot 60 = 36000 \text{ мм}^2$$

Отже:

$$\frac{S_{\phi}}{S_{щ}} = \frac{36000}{31220} = 1,15$$

4.4. Підбір конструкційних матеріалів

Вибір матеріалів, які застосовуються в харчовому машинобудуванні під час конструювання машин та апаратів, зумовлений наступними основними факторами:

- допустимістю контакту з харчовими продуктами;
- економічною доцільністю застосування;

— вимогами до надійності та довговічності устаткування.

Основні вузли екструдера — це цільнозварні конструкції зі сталі.

Екструдер складається з металевого корпусу із нержавіючої сталі, робочих органів-шнеків з нагнітачем вкінці.

Основні вимоги до стінок екструдера це - корозійна стійкість та добра зварюваність. Корпус екструдера щоденно підлягає санітарній обробці, яка включає в себе миття агресивними середовищами, тому для його виговлення вибираємо корозієстійку сталь аустенітного класу 12X18H10T, яка є найбільш поширеним матеріалом, з якого виготовляють деталі для машин харчової промисловості.

Матриці, через які проходить тісто, повинні мати хімічну стійкість, низькі адгезійні властивості, стійкість проти спрацювання, тому виготовляємо їх з фторопласту Ф-4.

Всі інші деталі, з якими контактує тісто (шнеки, решітки), виготовляємо з інструментальної сталі Х12М, яка має велику твердість та корозійну стійкість.

Деталі, що не контактують з тістом, виготовляють з дешевої, вуглецевої, конструкційної сталі звичайної якості Ст5.

Матеріал з якого виготовляють зубчасті колеса повинен мати достатню міцність, ударну в'язкість, легко піддаватись механічній обробці, тому для їх виготовлення доцільно буде використати сталь 45, або 40Х, 40ХН і піддавати гартуванню з високим відпуском.

Використані матеріали, їхні ДСТУ і ТУ наведені в табл.4.4.

Таблиця 4.4

Перелік матеріалів використаних в обладнанні

Найменування матеріалу, марка	Найменування деталі	ДСТУ, ТУ
-------------------------------	---------------------	----------

12X18H1 0Т	Корпус ЗБФА.	75	ДСТУ 5582-
X12M	Розподілювач, решітки, шнек, ніж, пуансони	74	ДСТУ 1435-
Ст.45	Зубчасті колеса.	88	ДСТУ 1050-
Ст.5	Опори, рама.	94	ДСТУ 380-

4.5.Монтаж, ремонт та експлуатація обладнання

Монтаж змішувальнобродильноформувального агрегату

Надійна і довговічна робота спроектованого обладнання забезпечується тільки за умови суворого дотримання правил експлуатації, своєчасного, якісного і повного проведення технічного обслуговування і ремонтно-профілактичних робіт, передбачених посібником з експлуатації.

До робіт по монтажу, наладці, експлуатації й обслуговуванню обладнання допускаються особи, що вивчили матеріальну частину і пройшли інструктаж із техніки безпеки.

Виробничий процес монтажу змішувально-бродильноформувального агрегату полягає в установці на фундамент (або без нього) та мотор-редуктора. Змішувально-бродильноформувальний агрегат (ЗБФА) надходить на монтаж в зібраному вигляді. Він встановлюється на попередньо підготовленому фундаменті і прикріплюється гайками з шайбою до анкерних болтів. Потім на спеціальному фундаменті встановлюють мотор-редуктор.

Перед пуском машини перевіряють затяжку болтових з'єднань: приводу мотор-редуктора місильних органів, контролюють міцність кріплення підшипників; змащують всі необхідні органи машини; встановлюють огороження приводу і надійно його кріплять; перевіряють натяг приводних механізмів приводу місильних органів. Потім вручну

перевіряють, чи вільно обертаються місильні органи. Потім включають машину на холостому ході, короткочасно натискаючи на кнопку "Пуск". При роботі машини не повинно бути стукоту, вібрації. При підключенні мотор-редуктора необхідно перевірити напрямок обертання місильних органів. Потім машину короткочасно прокручують і в разі її нормальної роботи ставлять на обкатку без навантаження протягом 2-3 годин. Після пробного пуску та усунення помічених недоліків приступають до експлуатації.

Експлуатація ЗБФА

Правила технічної експлуатації ЗБФА включають: забезпечення зовнішніх умов його роботи (відповідність приміщень, чистота, температура, вологість, чистота повітря та інше).

Основні правила експлуатації ЗБФА:

- забезпечення належного стану робочого місця;
- підтримка обладнання в чистоті, своєчасне і правильне змащування;
- дотримання допустимих режимів роботи механізмів (навантаження силові, швидкісні, теплові та інші);
- виконання правил управління машиною (пуск, експлуатація, зупинка);
- виконання заходів обумовлених системою планового технічного обслуговування та ремонту обладнання.

Нагляд за технічним станом обладнання на підприємстві виконує відділ головного механіка, який не лише контролює умови експлуатації, а й готує пропозиції і технічну документацію щодо покращення стану обладнання. Інспекторська служба цього відділу має право зупинити машини і агрегати при незадовільному їх стані, невірній експлуатації або порушенні графіків планово запобіжного ремонту.

Робітник (оператор) повинен знати конструкцію і взаємодію основних механізмів машин, вміти їх регулювати, виконувати дрібний ремонт,

підтримувати в належному стані робоче місце. Від знання і виконання правил експлуатації обладнання кожним робітником, залежить технічний стан ЗБФА. Догляд за ЗБФА має найважливіше значення для збереження його працездатності. При належному догляді можна значно збільшити термін служби агрегату до чергового ремонту. Перед початком роботи робітник зобов'язаний оглянути агрегат і перевірити його робочий стан, оглянути місця змащування, наявність в них мастила.

При виявленні будь-яких пошкоджень або несправностей робітник доповідає про це майстру. На протязі робочої зміни необхідно виконувати змащення всіх місць, указаних картою змащення даного агрегату, і маслом, вказаним в інструкції. При централізованому змащенні необхідно слідкувати за тим, щоб масляний резервуар завжди був заповнений мастилом.

Ремонт ЗБФА

Під час роботи ЗБФА треба слідкувати за характером роботи агрегату. Потрібно слідкувати за температурою підшипників. При появі стороннього шуму в працюючому механізмі необхідно зупинити машину і провести необхідне регулювання. При дрібних пошкодженнях, що не викликають простою, потрібно швидко замінити пошкоджену деталь. Ремонт та технічне обслуговування полягає у комплексі операцій по підтримці працездатності або справності обладнання при його експлуатації за призначенням, зберіганні та транспортуванні. Технічне обслуговування обладнання під час його використання за призначенням виконується відповідно до інструкції по експлуатації, розробленої заводом-виробником. У комплекс робіт по ремонту та технічному обслуговуванню ЗБФА, що знаходиться в експлуатації, входять: технічний огляд а вразі виявлення несправності, його ремонт. Технічний догляд, що включає роботи по дотриманню правил пуску, експлуатації та зупинки обладнання, своєчасне змащення окремих вузлів, підтримка належного санітарного стану робочого місця тощо. На кожному робочому місці має бути інструкція технічного догляду за агрегатом. Технічний догляд

виконується операторами та іншими робітниками, які безпосередньо працюють на агрегаті. Технічний нагляд виконується бригадою ремонтників у складі чергових слюсарів, електриків, мастильників та інших. При технічному нагляді виконуються роботи, без яких неможлива нормальна експлуатація обладнання між плановими ремонтами.

До таких робіт відносяться: регулювання окремих механізмів, підтягування різьбових з'єднань, догляд за арматурою.

Більшість таких робіт виконується за потребою відповідно до інструкцій по експлуатації. Підвищення якості обслуговування, постійний контроль за експлуатацією обладнання дозволяють зменшити кількість позапланових ремонтних робіт.

До виробничого процесу ремонту ЗБФА входять основні технологічні процеси: очищення, розбирання, миття, контроль-сортування, ремонт і відновлення деталей та спряжень, комплектування, складання, обкатка та інше, а також підготовчі та супутні процеси: матеріально-технічне постачання, забезпечення функціонування верстатного та іншого обладнання, доставка і відправлення об'єктів, що ремонтуються (при умові транспортування об'єктів ремонтним підприємством), та інше.

Перед ремонтом ЗБФА необхідно провести огляд обладнання і виявити всі дефекти. Дефекти виявляють під час огляду, а також на основі аналізу записів в журналі механіка та слюсарів-ремонтників. До початку ремонту заготовляють змінні деталі та інструменти.

Перед ремонтом агрегату і його розбиранням, обладнання відмикають від електромережі, сітки технологічних комунікацій, від'єднують привід, роз'єднують напівмуфти валу двигуна, спорожняють мастило з резервуарів системи мащення. На силовому шиті електроживлення вивішують табличку: «Не вмикати - працюють люди».

Основні правила розбирання ЗБФА:

- розбиранню підлягає лише той вузол або той механізм, який підлягає ремонту (повне розбирання виконується лише при капітальному ремонті);

- перед розбиранням необхідно ознайомитись з технічним паспортом, кінематичною схемою, кресленнями основних деталей і визначити порядок розбирання. Рекомендується також попередньо скласти план розбирання по одному із методів: послідовному чи паралельно-послідовному;

- в процесі розбирання проводиться та складається відомість дефектів;

- починають розбирати агрегат із зняття кожухів, кришок, запобіжних щитків, щоб відкрити доступ до вузла, що підлягає розбиранню;

- в разі розбирання декількох вузлів, деталі кожного з них складаються при зніманні громіздких деталей і вузлів необхідно користуватися вантажопідйомними механізмами;

- для полегшення розбирання спряжень, потрібно користуватись спеціальними пристроями, знімачами, інструментами та спеціальними механізмами.

5. Охорона праці

Вступ

Система управління охороною праці - це сукупність органів управління підприємством, що на основі нормативної документації здійснюють цілеспрямовану, планомірну діяльність для виконання завдань та функцій управління для забезпечення безпечних, здорових та високопродуктивних умов праці, запобігання отриманню травм і профзахворювань, а ще дотримання прав робітників, що гарантуються законодавством про охорону праці.

Функціями управління охороною праці є:

- організація і координація робіт;
- прогнозування та планування робіт, їхнє фінансування;
- контроль стану охорони праці і функціонуванням система управління охороною праці на підприємстві;
- облік, аналіз і оцінка стану умов та безпеки праці;
- сприяння діяльності по охороні праці.

Аналіз основних процесів та обладнання для виявлення небезпечних та шкідливих факторів умов праці

Щоб виявити наявні шкідливі і небезпечні чинники потрібно проаналізувати роботу обладнання в цеху з виробництва багетів. Умовні позначення нанесено на спрощеній схемі лінії.

В робочій зоні можливе виникнення таких шкідливих і небезпечних факторів: збільшення температури повітря, якщо будуть порушені експлуатаційні вимоги устаткування та при несправності вентиляції; обертові елементи електроприводів за несправності чи відсутності захисних засобів; формувальна головка при відсутності чи несправності захисних засобів. Щоб дотримати нормальні умови праці потрібно забезпечити надійну ізоляцію

поверхонь устаткування і налагодити подачу чистого та свіжого повітря з допомогою системи вентиляції.

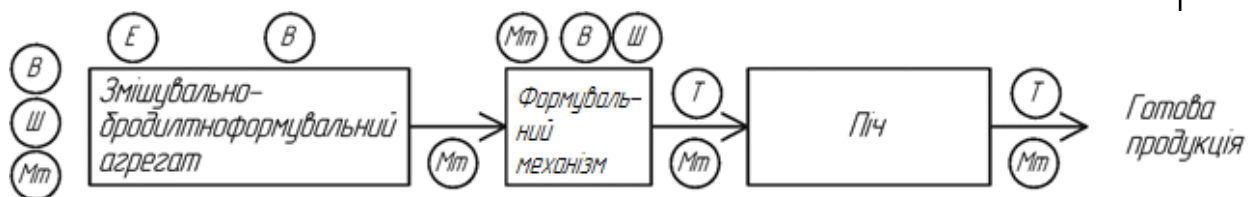


Рис.5.1. Небезпечні фактори на лінії виробництва багетів

Присутнім у цеху виробництва багетів, шкідливим та небезпечним факторам присвоєно наступні символи: Т - виділення тепла, Ш - шум, Мт - механічні травми, В - вібрація, Е - електробезпека.

Мікроклімат

Для нормального самопочуття робітника при виконанні роботи забезпечити комбінацію таких параметрів повітря: відносну вологість повітря, %; температуру повітря в приміщенні, °С; рухливість повітря, м/с; теплове випромінювання Вт/м², що відповідають ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Значення параметрів, що можуть забезпечити найкраще самопочуття, а тому й найвищу працездатність робітника, вважають оптимальними нормами мікроклімату.

Згідно вимог до умов мікроклімату пекарної дільниці, вентиляція має забезпечити температуру повітря 21...23 °С в теплу пору року та 17...19 °С у зимовий час, за швидкості потоку повітря 0,2...0,3 м/с. Вологість приміщення підвищена і саме тому непотрібне додаткове зволоження повітря в самій системі вентиляції.

Норми мікроклімату приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Допустимі норми мікроклімату

№ пор.	Професія	Категорія робіт за важкістю	Температура, °С на робочих місцях				Відносна вологість ф, %	Швидкість руху повітря, м/с
			Верхня границя		Нижня границя			
			Постійних	непостійних	постійних	непостійних		
1	Оператор ЗБФА	IIa	Холодна пора року				75	до 0,2
			25	26	22	20		
			Тепла пора року					
			26	28	25	22		
2	Тістороб	IIa	Холодна пора року				75	до 0,2
			25	26	22	20		
			Тепла пора року					
			26	28	25	22		
3	Пекар	Iб	Холодна пора року				75	до 0,2
			30	32	25	23		
			Тепла пора року					
			35	40	27	28		

Шум

Шум на лінії виробництва багетів не перевищує дозволений нормами.

Перевірка шуму і вібрації безпосередньо на робочих місцях має проводитись не рідше, ніж один раз на рік. Рівень шуму робочих зон у виробничих приміщеннях становить 80 дБ.

Норми шуму, що допускаються на робочих місцях наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Допустимі норми шуму

№ п/п	Робочі місця	Рівні звукового тиску (дБ) в октавних смугах з середньогометричними частотами (Гц)									Рівень звуку дБ
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Оператор ЗБФА	100	95	90	84	79	78	75	74	72	80
2	Тістороб	100	95	90	84	79	78	75	74	72	80
3	Пекар	100	95	90	84	79	78	75	74	72	80

Раціональним методом зменшення рівня шуму є зниження його в джерелах появи. Для цього приймаються такі заходи:

- за технічної можливості ударні взаємодії деталей змінюються на без ударні;
- звукоізоляція конструкцій;
- вчасна заміна підшипників та зношених деталей;
- змащування в'язкими рідинами ударних деталей.

Вібрація

Вібрація може бути локальною та загальною. Обладнання в цеху по виробництву багетів не вимагає постійного ручного керування чи контакту з людиною, через це воно створює загальну вібрацію, яка передається на підлогу чи фундамент, а через них діє на робітника.

ГОСТ 12.1012-90.ССТБ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

1. Застосування інструментів і обладнання з рівнем вібрації, який не перевищують ГОСТ 12.1.012-90.
2. Зниження параметрів вібрації, шляхом переведення енергії механічних коливань в інший вид енергії, наприклад в теплову.

Освітлення

На території дільниці застосовують два види освітлення – природне та штучне. Освітлення має відповідати вимогам "Державних будівельних норм" ДБН В.2.5-28-2006.

Природне освітлення створюється великими вікнами в цеху. Через можливе забруднення скла, ефективність природного освітлення може знижуватися. Потрібно не менше, як два рази в рік проводити очищення скла. Також, для природного освітлення, значення мають чистота та колір стін і стелі приміщення.

Штучне освітлення створюється штучними джерелами світла та поділяється на робоче, охоронне та аварійне. Світильників обрано у відповідності з характеристиками та призначенням приміщень. Розміщення джерел світла повинне бути рівномірним по всій площі цеху. Очищати світильники має електрик один раз в місяць. Контроль освітленості треба проводити не менше, ніж один раз на 3 місяці. Включення загальної системи освітлення має бути централізоване. Штучне освітлення представляють люмінесцентні лампами, що встановлюються поблизу робочих місць. Освітлення цеху становить 200 лк.

На дільниці передбачено аварійне освітлення. Воно виконується щоб забезпечити безпечне перебування обслуговуючого персоналу на території цеху, а ще для евакуації при вимкненні робочого освітлення.

При проведенні ремонтних робіт, передбачено мережу ремонтного освітлення. Вона працює при напрузі 36 В.

Норми штучного освітлення на робочих місцях наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. Допустимі норми освітлення

№	Професія	Точність зорової роботи	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Освітленість, лк	
					Комбінована: Газорозрядні лампи.	Загальна: Газорозрядні лампи.
1	Оператор ЗБФА	Малої точності	V	в	400	200/150
2	Тістороб	Малої точності	V	в	400	200/150
3	Пекар	Малої точності	V	в	400	200/150

Електробезпека

Бродильно-формувальна дільниця небезпечна ураження робітників електричним струмом і залежно від виробничого середовища за "Правилами улаштування електроустановок" належать до категорії із підвищеною небезпекою.

Для забезпечення електробезпеки проводяться наступні заходи заходи:

- заземлення всіх металевих, не струмоведучих конструкцій елементів обладнання;
- автоматичне захисне відключення при замиканні чи перевантаженні;
- захисне розділення мереж;
- використання захисних пристроїв і засобів;
- проведення попереджувальних ремонтів і профілактичних випробувань електричного обладнання;
- проведення організаційних заходів (навчання, інструктажі, атестація).

Забезпечення санітарно-побутовими приміщеннями

Територія цеху, що знаходиться в складі хлібозаводу, має відповідати "Державним будівельним нормам" ДБН В.2.2-28-2010. Для забезпечення санітарно-гігієнічних норм передбачені наступні побутові приміщення: душові, санвузли, роздягальні, кімната відпочинку та пральня.

Побутові приміщення розміщені в тій же будівлі, що і виробничі та забезпечуються припливно-витяжною вентиляцією. В адміністративному приміщенні розміщено медпункт та заклад харчування.

Пожежна безпека

Територія бродильно-формуальної ділянки, що є складовою цеху по виробництву багетів, за вибухо-пожежною безпекою відноситься в категорію "В" відповідно з нормами технологічного проектування НАПБ Б.03.002-2007.

Ступінь вогнестійкості будівель для основних робочих цехів, не має бути нижче III відповідно з "Державними будівельними нормами" ДБН В 1.1-7-2002.

У відповідності із "Правилами улаштування електроустановок" клас приміщення і зони вибухопожежної небезпеки - В-Па.

Для вчасного сповіщення про пожежу в цеху передбачено автоматичну пожежну сигналізацію. Для ліквідації пожежі є первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться пожежні стволи разом із пожежними рукавами, вогнегасники, внутрішні пожежні трубопроводи, відра, лопати, азбестові ковдри, сухий пісок, а ще інструменти для розбирання будівельних конструкцій.

При пожежі чи інших критичних ситуаціях у цеху мають бути хоча б два шляхи евакуації людей. Одним із шляхів евакуації може виступати вікно з пожежною драбиною чи сходами, які ведуть на підвір'я.

6. Охорона довкілля

Екологізація виробництва - це науковий процес, впровадження системи організаційних, технічних і інших рішень, що дадуть можливість покращити ефективність використання ресурсів, зберігати чи покращити стан природного середовища на локальному, регіональному і глобальному рівнях.

Під екологізацією технологій мається на увазі розробка та впровадження технологій, що зможуть при найвищій якості продукції забезпечувати екологічну рівновагу навколишнього середовища, не допускаючи забруднення середовища.

Основи екологізації складають розробка і впровадження маловідходних, енергетичних та ресурсозберігаючих технологій, як очищення опрацьованого повітря та стічних вод. В основі підходу до екологізації технологічного циклу будь – якого виробництва закладено соціальні, екологічні та економічні принципи.

Хлібопекарська промисловість входить в число матеріалозатратних галузей, оскільки використовує велику кількість природних, поливних, водних ресурсів та сировини. Кожне з харчових виробництв в певній мірі забруднює навколишнє середовище через викиди ряду шкідливих речовин у атмосферу, утворення твердих відходів і стічних вод. Харчова промисловість посідає 14-те місце поміж галузей та промислових виробництв по рівню створення забруднення.

На підприємствах хлібопекарської промисловості захист навколишнього середовища полягає в ряді заходів по виявленню джерел забруднення і їхнього знешкодження. Хлібопекарські підприємства в перше чергу є забруднювачами атмосфери та водойм.

Екологічне обґрунтування раціональності встановлення нової машини.

Проектом передбачається використання нової машини в лінії виробництва багетів. Впровадження нового апарату не створює негативно впливу на зміну викидів шкідливих речовин та зменшує енерговитрати на одиницю продукції за рахунок зменшення кількості використовуваного обладнання.

Всі наведені переваги безпосередньо зв'язані із станом навколишнього середовища. Наприклад, вироблення електроенергії, що використовує сконструйоване обладнання, на електростанціях також супроводжується викидами у навколишнє середовище шкідливих відходів та газів.

Характеристики викидів на підприємстві.

Викиди підприємств поділяються на неорганізовані та організовані.

Неорганізовані викиди - це викиди пари, газів, пилу і стічних вод, що утворюються як результат нещільностей у трубопроводах, комунікаціях, апаратах, установках, через двері і вікна, найбільше за відкритих процесів завантаження та розвантаження продуктів. Найнебезпечні для атмосфери викиди газоподібних і рідких речовин, що виникають за порушення технологічних процесів.

Організовані викиди - викиди, для яких організовано відвід від місць їхнього утворення: повітропроводи, газоходи тощо.

Викиди в атмосферу харчовим підприємством поділяються на:

- викиди, що супроводжуються виділенням теплоти і енергії;
- викиди з переробки вторинних ресурсів;
- викиди основних технологічних процесів.

У хлібопекарських печах частіше всього використовується природній газ чи енергообігрів.

На хлібозаводі специфічними викидами являється борошняний і цукровий пил, відпрацьовані гази та ті, які відводяться з компресорно-повітряних установок, аерозоль транспорту. Підчас бродіння тіста утворюється діоксид вуглецю. Зараз на більшості заводів, діоксид вуглецю використовують, як вторинний ресурс і направляють в атмосферу.

Щоб контролювати скиди в атмосферу, розроблені спеціальні санітарно-гігієнічні норми. Основною характеристикою домішок в атмосфері є концентрація речовини в одиниці об'єму (мг/м³) повітря.

У таблиці 6.1. приведено значення гранично допустимої концентрації деяких забруднювачів атмосферного повітря.

Табл.6.1. Значення найбільш характерних забруднювачів атмосферного повітря

Речовина	Клас небезпеки	Гранично – допустимі концентрації, мг/м ²	
		ГДК МР	ГДК сд
NO	2	0,085	0,04
CO	4	5,0	3
SO	3	0,5	0,05
Хлор	2	0,1	0,03
Озон	1	0,16	0,003
Аміак	4	0,2	0,04
Спирт:			
Метиловий	3	1	0,5
Етиловий	4	5	5
Пил:			
Борошняний	4	0,5	0,150
Цукровий	4	0,5	0,5
Бенз – (а) - пірен	1	-	1*10 ⁻⁶

Характеристика скидів

Стічні води хлібозаводу є складною фізико-хімічною системою. В ній утримуються не лише розчинні частки, а й частки різної дисперсності (від 10⁻³ до 10⁻² м). Крім зважених часток в ній міститься велика кількість забруднювачів органічного та неорганічного походження.

Стоки хлібозаводу - поживне середовище існування мікроорганізмів активного типу.

Виробничі стоки не мають порушувати роботу каналізаційних мереж, спричиняти корозію чи утворювати осад. Міські каналізаційні системи потребують підготовки стічних вод з заводу. Вони приймають стічні води без механічної та біологічної очистки, але іноді є необхідність видалення жирних речовин.

В таблиці 6.2. приведені дані кількості стічних вод, що утворюються при виготовленні одиниці продукту.

Табл.6.2. Дані про кількість стічних вод, які утворюються на одиницю продукту

Підприємство	Одиниця продукції	Система водопостачання	Середньорічна кількість стічних вод, що спускаються у водойми на од. продукції.		
			Підлягають очищенню		Всього
			виробничі	побутові	
Х/З продуктивністю 126 т/доб.	1 тонна виробів	прямоточна	0,83	0,35	1,18
ЗО	1 тонна вир.	прямоточна	1,89	0,98	2,87
Х/З кондитерським цехом 46 т/доб.	1 тонна виробів	прямоточна	1,7	0,79	2,49
40	1 тонна вир.	прямоточна	1,93	1,21	3,14

Несвоєчасна і неповна переробка вторинних матеріалів та відходів виробництва може привести до їх псування, а найголовніше до негативного впливу на навколишнє середовище.

Висновки до розділу:

Хлібопекарська промисловості не є значним забруднювачем навколишнього середовища. Головними забрудниками на даному

підприємстві є силосо-просіювальне відділення, викиди підчас бродіння тіста та його випікання, паливно-енергетичний комплекс. На всі вище згадані викиди, встановлені граничні значення, які відповідають екологічним нормам України.

Стічні води, підприємства скидаються в міську каналізацію, без очищення. Склад та параметри стічних вод у каналізаційній мережі мають відповідати вимогам складу стічних вод що надходять до каналізаційної мережі.

Розроблена конструкція апарату дозволяє вирішити ряд екологічних проблем: зменшити несприятливі викиди в навколишнє середовище, скоротити витрати електроенергії, більш раціонально використовувати природні ресурси, що разом приведе до поліпшення екологічної ситуації у регіоні.

Впровадження змішувальнобродильно-формуального агрегату в лінію хлібопекарського підприємства приведе до збільшення його продуктивності та як наслідок і прибутку.

В результаті розрахунку лінії недисконтований період окупності складе 2,36 року, а дисконтований період окупності – 3,95 року. Ці значення менші 5-ти років, періоду окупності в рамках життєвого циклу всього проекту.

Дивлячись на показники чистого приведенного доходу, період окупності проекту, індекс дохідності, а також індекс прибутковості, лінію можна рекомендувати до впровадження у виробництво.

ВИСНОВКИ

Літературний огляд виявив, що виробництво пласких виробів із дріжджового тіста пов'язано складністю проведення процесів оброблення, необхідністю використання різноманітного, різного за призначенням та обслуговуванням обладнання, крім того, низьке подозавантаження таких виробів і низька продуктивність. Однак, виробництво галет є актуальним в сучасних умовах, як показав практичний досвід.

Експериментальні дослідження підтверджують тристадійність процесу замішування на всіх чотирьох режимах роботи тістомісильної машини

Проведені розрахунки витрат енергії на замішування та їх порівняння з експериментальними даними свідчить, що вони суттєво відрізняються. Найбільша відмінність спостерігається у витратах питомої роботи на зміну структури тіста.

Існуюча теоретична методика розрахунку не враховує повною мірою витрат роботи, на в'язке тертя тістової маси під час перемішування та, відповідно, зміну структурно механічних властивостей готового тіста, переходу від окремих порошкоподібних і рідких фаз під час замішування до складної в'язко-пружної структури з неньютонівськими властивостями.

Результатом нашого аналізу є необхідність внесення змін в існуючу методологію розрахунку енергетичних витрат на процес замішування тіста. Нами було запропоновано змінити формулу для розрахунку роботи, що витрачається на зміну структурних властивостей тіста. Ми пропонуємо розраховувати роботу, яка витрачається на структурні перетворення тіста визначити як $5 \cdot A_1$, тобто збільшити в 50 разів.

Нами досліджено процес екструзування газонаповненого тіста через щілинний канал, отримали графічні залежності та математичні рівняння зі зміною газової фази тіста:

✓ середньої швидкості потоку;

- ✓ об'ємної та масової продуктивності;
- ✓ коефіцієнта розширення поперечного перерізу тістової стрічки

Дослідження якісних характеристик готового продукту показує, що якісна, дрібнозерниста та рівномірно розподілена пористість, за параметрів екструдювання: тиск 0,2МПа та 40 хв бродіння тіста в камері.

Проведені дослідження дозволяють поєднати процеси замішування тіста, операції його оброблення та розробити принципово нову конструкцію обладнання, а саме: змішувальнобродильноформуального агрегату, який забезпечує інтенсивний процес замішування, бродіння тіста з накопиченням вуглекислого газу для подальшого розпушення тістових заготовок.

Технічний результат забезпечується поєднанням технологічних операцій замішування, бродіння, формування і розпушення в конструкції одного агрегату безперервної дії, що значно скорочує кількість обладнання та спрощення машино-апаратурної схеми, виробничих площ, економії електроенергії за рахунок зменшення кількості електроприводів машин, зниження витрат на експлуатацію обладнання та втрат сировини і збільшення виходу продукції, що в кінцевому підсумку приводить до зниження собівартості продукції.

Список використаних джерел

1. Технологічні комплекси харчових виробництв. Навч. посіб. /В.І.Теличкун та інш. Київ: Видавництво «Сталь», 2017. 456 с.
2. Теличкун В.І., Теличкун Ю.С., Губеня О.О., Стефанов С., Дамянова С. Технологічне обладнання харчових виробництв Київ: Видавництво «Сталь», 2023.—634с.
3. Бетін С.І. Перспективні напрями модернізації машин для замісу тіста, 2 с.
4. О.Б. Пугаченко Особливості хлібопекарного виробництва та їх вплив на склад і облік запасів, Наукові праці КНТУ, Економічні науки, випуск 15, 2009, 317 с.
5. Янаков В.П. Аналіз фундаметальних досліджень у технологічній операції заміс тіста, Праці ТДАТУ, випуск 12, 227 с.
6. Дорик А. Інтенсифікація процесу замішування тіста, ІV Всеукраїнська студентська науково - технічна конференція "Природничі та гуманітарні науки. актуальні питання", 13 с.
7. Т. В. Савченко Дослідження особливостей споживання та виробництва хлібобулочних виробів в Україні, Серія: Економіка та підприємництво, 2014 р., № 5, 111 с.
8. Костецька Н. І. Ринок хліба і хлібобулочних виробів України: стан і перспективи розвитку, Галицький економічний вісник, — Т. : ТНТУ, 2015. — Том 48. — № 1. — С. 26-31.
9. Янаков В.П., Івженко О.В. Основні підходи до аналізу тристадійної моделі замісу тіста, Праці ТДАТУ, 187 - 194 с.
10. Замковий Д.В. Технологія виробництва хлібобулочних виробів, 87 с.
11. Третяк К.О. Вдосконалення конструкції швидкісного змішувача для замісу тіста, 169 с.

12. І.М. Кикина, В.В. Гончарук Енергоефективність замішування тіста, Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 106 с.
13. О. Хом'як, В. Ворощук Аналіз процесу замішування тіста, Матеріали XVII наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. 2013. Том I. Природничі науки та інформаційні технології, 99 с.
14. Кравченко О. І. інтенсифікація процесу та вдосконалення обладнання для замішування дріжджового тіста.
15. Лисовенко А.Т. Технологическое оборудование хлебозаводов и пути его совершенствования: учебник для высш. учеб. заведений: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 208 с.
16. Mani K., Eliasson A., Lindahl L. Rheological properties and bread making quality of wheat flour doughs made with different dough mixers: book for university students: Cereal Chem. 1992. 225 p.
17. Wooding A. R., Martin R. J., Wilson A. J. Effect of sulphur-nitrogen treatments on work input requirements for dough mixing on second season: Proc. 44th RACI Cereal Chemistry Conference, F: 1994. 257 p.
18. Pareyt B. Impact of mixing time and sodium stearyl lactylate on gluten polymerization during baking of wheat flour dough: Food Chemistry: 2013. 179 p.
19. Лисовенко О. Т. Технологічне обладнання хлібопекарних і макаронних виробництв. / О. Т. Лисовенко, О. А. Руденко-Грицюк, І.М. Литовченко // – К.: Наукова думка, 2000. – 281с.
20. Shehzad A. Energetical and rheological approaches of wheat flour dough mixing with a spiral mixer: Journal of Food Engineering: 2012. 70 p.
21. Дробот В.І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва: Навч. посіб. — К.: Руслана, 1998. — 416 с.