

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

_____ магістр

(освітнього рівня)

на тему: Удосконалення робочих органів тістомісильної машини А2-ХТТ з дослідженням реологічних властивостей тіста.

Виконала: студент VI курсу, групи МОмн-61
спеціальності

133 "Галузеве машинобудування"

(шифр і назва спеціальності)

Калиняк В.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Стадник І.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
Кафедра обладнання харчових технологій
 Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр
 Спеціальність 8.05050313-Обладнання переробних і харчових виробництв
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри, голова циклової
комісії**

Кафедри Обладнання харчових технологій
д.т.н., професор Вітенько Тетяна
Миколаївна .
 _____ 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Калиняк Вікторії Сергіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення робочих органів тістомісильної машини А2-ХТТ з дослідженням реологічних властивостей тіста

Керівник проекту (роботи) Стадник Ігор Ярославович – д.т.н. проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “04” 2020 року № 4/7-17

2. Строк подання студентом проекту (роботи) “26” 05. 2020 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічний паспорт та інструкції з експлуатації монтажу та технічного обслуговування і ремонту тістомісильної машини А2-ХТТ

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ.. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ. Пшеничне дріжджове тісто як об'єкт реологічних досліджень. Структурутворення тіста при процесі замішування. Аналіз роботи конструктивних елементів існуючих тістомісильних машин. Вибір раціональної схеми робочого органа тістомісильних машин. Висновки і задачі наукових досліджень. ПРОГРАМА, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Програма проведення аналітичних і експериментальних досліджень. Характеристика об'єкту і завдання дослідження. Методи визначення якісних показників тіста. Метод енергетичного балансу. Фізичне моделювання процесу на лабораторній установці. Аналіз конструктивних особливостей робочого органа та його вибір. Числові методи розрахунку процесу замісу тіста. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ НОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ. Розрахунок питомої роботи при замішуванні. Кінематичний розрахунок. Конструктивний розрахунок розробленої конструкції експериментальної установки. Дослідження конструктивних особливостей тарільчастого робочого органу при замішуванні. Порівняльний аналіз сил, які діють на робочий орган. Визначення конструктивних параметрів місильного органу розробленої конструкції. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАМІШУВАННЯ ТІСТА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ УСТАНОВЦІ. Дослідження процесу замішування тіста при різних режимах. Визначення потужності, що споживається при замішуванні тіста. Аналіз зміни температури в процесі замісу. Визначення реологічних характеристик вибродженого тіста. економічна частина. Техніка безпеки та надзвичайні ситуації. Екологія. Перелік посилань.

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

1. Загальний вигляд тістомісильної машини А2-ХТТ. Ф-А1.

2. Схеми експериментальної установки. Ф-А1.

3. Моделювання крутного моменту на привідному валу. Ф-А1.

4. Математичне моделювання питомої роботи замішування тіста. Ф-А1.

5. Графіки залежності. Ф-А1.

6.Динаміка руху рідини в робочій камері. Ф-А1.

7.Реологічні властивості тіста. Ф-А1.

6.Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
Охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	<i>Кравець О.І. – к.т.н., доцент. Стручок В.С.-ст.викладач.</i>		
Спеціальна частина	<i>Вітенько Т.М. – д.т.н., проф.</i>		
Нормоконтроль	<i>Ворощук В.Я. – к.т.н., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання “02” 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ.РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	19.02.2020р.	
2.	РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	14. 03.2020р.	
3.	РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ НОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ	02. 04.2020р.	
4.	РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАМІШУВАННЯ ТІСТА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ УСТАНОЦІ	19.04.2020р.	
5.	5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.	30.04.2020р.	
	<i>Графічна частина</i>		
6.	1. Загальний вигляд тістомісильної машини А2-ХТТ.Ф-А1.	03. 05.2020р.	
7.	2. Схема експериментальної установки. Ф-А1.	03. 05.2020р.	
8.	3. Моделювання крутного моменту на привідному валу. Ф-А1.	04. 05.2020р.	
9.	4. Математичне моделювання питомої роботи змішування тіста. Ф-А1.	04. 05.2020р.	
10.	5. Графіки залежності. Ф-А1.	04. 05.2020р.	
11.	6. Динаміка руху рідини в робочій камері. Ф-А1.	06. 05.2020р.	
12.	7. Реологічні властивості тіста. Ф-А1.	06. 05.2020р.	

Студент Калиняк В.С.

Керівник проекту (роботи) Стадник І.Я.

АНОТАЦІЯ

Калиняк Вікторія Сергіївна. Удосконалення робочих органів тістомісильної машини А2-ХТТ з дослідженням реологічних властивостей тіста. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису на здобуття ступеня наукового магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», «Обладнання переробних і харчових виробництв» – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2020.

Кваліфікаційна робота присвячена теоретичним і експериментальним дослідженням проектування й розрахунку конструктивних параметрів нових робочих органів тістомісильної машини неперервної дії А2-ХТТ. Розроблено фізичну модель робочої камери тістомісильної машини. Встановлено вплив змінних факторів: частоти обертання робочого органу (n , об/хв.), кута атаки (α , град), кроку між робочими органами (m) на якість змішування. Отримано аналітичні залежності та обґрунтовано раціональні параметри тарільчастого робочого органу та його вплив на тістоутворення. Уточнено математичну модель питомої роботи замішування, яка враховує геометричні, кінематичні та фізико-механічні характеристики системи. Досліджено вплив частоти обертання робочих органів на рух тістової маси в робочій камері й виведено аналітичні залежності їх впливу на реологічні показники тіста. Найкраще змішування спостерігається для кроку тарільчастих робочих органів $t = 65$ мм, а найменше – для $t = 45$ мм.

Порівняння отриманих дослідних результатів дозволяє зробити висновок про подібність отриманих значень та побудованих на їх основі відповідних графічних залежностей між розрахунковими та експериментальними значеннями.

Ключові слова: змішування, тарільчастий робочий орган, математична модель, питома робота.

ANNOTATION

Kalyniak Viktoriia Sergiivna Improvement of dough kneading machine A2-XTT with the study of dough rheological features.. - Qualification work on the rights of a manuscript for a master's degree in specialty 133 " *Industry engineering* », "Equipment for processing and food production" - Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy, Ternopil, 2020.

Qualification work is devoted to theoretical and experimental researches of designing and calculation of constructive parameters of new working bodies of the kneading machine of continuous action A2-HTT. A physical model of the working chamber of the kneading machine has been developed. Influence established variables: the speed of the working body (n , obr), angle of attack (α , grad), the step between the working bodies (m) on the quality of mixing. Analytical dependences are obtained and rational parameters of the plate working body and its influence on dough formation are substantiated. The mathematical model of specific mixing work is specified, which takes into account geometric, kinematic and physical-mechanical characteristics of the system. The influence of the frequency of rotation of the working bodies on the movement of the dough mass in the working chamber is investigated and the analytical dependences of their influence on the rheological parameters of the dough are derived. The best mixing is observed for the pitch of the plate bodies $t = 65$ mm, and the least - for $t = 45$ mm.

Comparison of the obtained research results allows us to conclude that the obtained values are similar and the corresponding graphical dependences between the calculated and experimental values built on their basis.

Keywords: mixing, plate working body, mathematical model, specific work.

Зміст

Анотація

Вступ

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. *1. Пшеничне дріжджове тісто як об'єкт реологічних досліджень*
 - 1.1.2. Типи неньютонівських матеріалів.
 - 1.2. Характеристики дисперсних структур в умовах руйнування
 - 1.3. Структурутворення тіста при процесі замішування
 - 1.4. *Застосування математичного моделювання при дослідженні процесів*
 - 1.5. Аналіз роботи конструктивних елементів існуючих тістомісильних машин
 - 1.5.1. Вибір раціональної схеми робочого органа тістомісильних машин
 - 1.6. Висновки і задачі наукових досліджень

Висновки по розділу 1.

РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

- 2.1. Програма проведення аналітичних і експериментальних досліджень
- 2.2. Характеристика об'єкту і завдання дослідження
 - 2.2.1. *Способи приготування тіста*
 - 2.2.2. Методи визначення якісних показників тіста
 - 2.2.3. Метод енергетичного балансу
- 2.3. *Фізичне моделювання*
 - 2.3.1. Фізичне моделювання процесу на лабораторній установці
 - 2.3.2. Аналіз конструктивних особливостей робочого органа та його вибір
- 2.4. Експериментальна установка, її особливості, допоміжні прилади

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ НОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

- 3.1. Передумови та припущення узагальненого підходу опису змішування
- 3.2. Розрахунок питомої роботи при замішуванні
- 3.3. Кінематичний розрахунок
- 3.4. Конструктивний розрахунок розробленої конструкції експериментальної установки

- 3.4.1. Розрахунок вала
- 3.4.2. Підбір підшипників
- 3.4.3. Розрахунок шпонки
- 3.4.4. Підбір муфти
- 3.4.5. Вибір ущільнень
- 3.5. Дослідження конструктивних особливостей тарільчастого робочого органу при замішуванні
 - 3.5.1. Порівняльний аналіз сил, які діють на робочий орган
- 3.6. Аналіз конструктивних параметрів місильного органу розробленої конструкції
 - 3.6.1. Математично-статистична обробка результатів експерименту

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАМІШУВАННЯ ТІСТА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ УСТАНОВІ

- 4.1. Визначення крутного моменту на тарільчастому робочому органі
- 4.2. Дослідження процесу замішування тіста при різних режимах
 - 4.2.1. Визначення потужності, що споживається при замішуванні тіста
 - 4.2.2. Аналіз зміни температури в процесі замісу
- 4.3. *Визначення реологічних характеристик вибродженого тіста*

5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

- 5.1. Аналіз виробничого травматизму
 - 5.1.2. Заходи щодо техніки безпеки і промислової санітарії.
- 5.2. Розроблення заходів захисту роботи від повеней

Загальні висновки

Література

Додатки

ВСТУП

Актуальність теми. Тістомісильні машини неперервного замішування компонентів є основою комплексно-механізованих потокових ліній по виробництву хлібобулочних виробів. Вони спрямовані на підвищення продуктивності праці та ефективності виробничих процесів. Питома вага використання машин даного класу у складі сучасних потокових технологічних ліній складає близько 60%. Окрім позитивних характеристик машини головним недоліком виступає обмежена можливість замішувати різноманітні компоненти так як вплив існуючих робочих органів на процес відбувається за рахунок адгезії середовища. Відтак конструкції дискових робочих органів потребують подальшого дослідження та удосконалення. Тому актуальним питанням є вирішення завдання, яке полягає у розробленні, дослідженні та реалізації нових типів робочих органів, що забезпечують ефективне замішування компонентів без зростання питомих енерговитрат.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, які визначають основу магістерської роботи, відповідають науковому напрямку досліджень Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та виконані в рамках кафедри «обладнання харчових технологій».

Мета і завдання досліджень. *Мета роботи* – підвищення ефективності замішування тіста шляхом розроблення нової конструкції та обґрунтування раціональних параметрів тарільчастих робочих органів.

Для досягнення мети магістерської роботи поставлені та вирішені такі завдання:

- провести аналіз конструкцій та досліджень змішувальних машин неперервної дії, на базі чого розробити теоретичні передумови проектування нових робочих органів;
- спроектувати і виготовити лабораторну установку для проведення досліджень;

- провести дослідження гідродинаміки рідини, що виникає в робочій камері при дії нових тарільчастих робочих органів;
- обґрунтувати математичну модель питомої роботи замішування тіста новими робочими органами;
- дослідити реологічні властивості замішеного тіста на експериментальній установці.

Об'єкт дослідження – процес замішування тіста.

Предмет дослідження – закономірності взаємозв'язку конструктивно-кінематичних параметрів із функціональним призначенням.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проведено з використанням методів моделювання, теоретичної механіки, теорії машин і механізмів, конструювання деталей машин. Апробацію результатів здійснено методом комп'ютерного моделювання. Результати експериментальних досліджень отримано за допомогою спеціально розробленого оснащення із застосуванням сучасних засобів та методів вимірювань при використанні математичного планування експерименту. Статистичне оброблення експериментальних даних проведено з використанням прикладних програм для ПЕОМ.

Наукова новизна отриманих результатів:

- одержало методику дослідження гідродинаміки рідини, що дозволяє визначати інтенсивність рух та вплив кута атаки на процес;
- удосконалено математичну модель визначення питомої роботи замішування тіста новими робочими органами;
- визначено найбільш небезпечні режими замішування тіста із урахуванням його швидкості руху в робочій камері.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено та проведено випробовування нових тарільчастих робочих органів із встановленням конструктивно-технологічних параметрів. Результати реологічних характеристик із базовими підтвердили ефективність застосування нових робочих органів.

Отримано математичну залежність для визначення питомої роботи замішування тіста.

Технічна новизна розробок знайшли використання в навчальному процесі при підготовці фахівців за спеціальністю « » для викладання дисципліни «Технологічне обладнання хлібопекарських та бродильних виробництв».

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи отримано автором самостійно. Теоретично і практично обґрунтовано конструкцію робочих органів. Обґрунтовано параметри замішування тіста та його реологічні характеристики.

Апробація результатів дисертації. Основні положення виконаних досліджень доповідалися та обговорювалися на наукових конференціях та науково-технічних семінарах: Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті), (22-24 травня, Тернопіль, 2018 р.); Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», (28-29 листопада, Тернопіль, 2018 р.); Робота доповідалась на розширеному засіданні семінару кафедри Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя й отримано позитивний відгук.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 3 наукових праці, з них 3 тези наукових конференцій. Калиняк В., Древніцький М., Стадник І. Ефективність проектування нового тістомісильного обладнання Матеріали 7 Міжнародної науково-технічної конференція молодих вчених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій- Тернопіль 28-29 листопада 2018р.с Калиняк В., Стадник І. Фактори впливу на структуру тіста/Міжнародна студентська науково-технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» м. Тернопіль. ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019.с7-8.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків і додатків. Роботу викладено на 96 сторінках, вона містить 45 рисунків, 11 таблиць, а також додатки на 12 сторінках.

Список

літератури включає 41 найменування. Загальний обсяг становить 109 сторінок.

Перелік умовних позначень

РО-робочий орган ;

ТРО-тарільчастий робочий орган;

ТМ-тістомісильна машини;

ПЗТ-процес замішування тіста;

d – діаметр частинки, m ;

D_t – коефіцієнт молекулярної дифузії, m^2/c ;

– середній діаметр частинок впродовж дослідження за даної витрати стиснутого повітря, m ; і ч d

F – поверхня частинок, m^2 ;

m – кількість точок експерименту; $m_i \dots 1 \square$

r – лінійний розмір (радіус) тарілки, m ;

M_0, M – початкова та поточна маси твердої фази у будь-який заданий момент часу, kg ;

t – температура, $^{\circ}C$;

V – об'єм, m^3 ;

V_c – об'ємна витрата, m^3/c ;

ω_0 – фіктивна швидкість, m/c ;

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Пшеничне дріжджове тісто як об'єкт реологічних досліджень

В процесі виробництва хлібопекарської продукції напівфабрикати перебувають в умовах складного напруженого стану. Здатність зберігати або змінювати форму під дією зовнішніх зусиль характеризується механічними властивостями тіста. Частина з них діє в об'ємі матеріалу (пружність, еластичність, в'язкість), інші – на його поверхні (адгезія). Ці властивості безпосередньо пов'язані з молекулярними взаємодіями у тілах, особливостями будови і теплового руху їх структурних елементів, із взаємодією елементів один з одним і з молекулами дисперсійного середовища, тому їх називають структурно-механічними [1].

Для характеристики деформаційних процесів і релаксаційних властивостей матеріалу визначають певні реологічні параметри. Деформація, тобто зміна форми і розмірів тіла, що виникає під дією зовнішніх сил, супроводжується виникненням внутрішніх сил взаємодії між частками тіла. Мірою їх інтенсивності є напруження, серед яких розрізняють повне, нормальне і дотичне. В загальному випадку об'ємний напружений стан тіла визначається тензором напружень [2,3]

$$\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix}$$

де σ , τ – відповідно нормальне і дотичне напруження.

Оскільки по закону парності і рівності дотичних напружень $\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{xz} = \tau_{zx}$ і $\tau_{yz} = \tau_{zy}$, то для визначення напруженого стану

елемента необхідні тільки шість незалежних компонент напружень і тензор буде симетричним .

Деформаційний стан характеризує тензор деформацій

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{vmatrix} \varepsilon_x & \gamma_{xy}/2 & \gamma_{xz}/2 \\ \gamma_{yx}/2 & \varepsilon_y & \gamma_{yz}/2 \\ \gamma_{zx}/2 & \gamma_{zy}/2 & \varepsilon_z \end{vmatrix}$$

де ε , γ – відповідно лінійна і кутова деформації.

В більшості реальних випадків вирази тензорів напружень і деформацій спрощуються, оскільки, по-перше, матеріали часто розглядають як ізотропні (механічні властивості яких однакові у всіх напрямках), по-друге, їх течія відбувається тільки в одному напрямку. Поняття тензорів напружень і деформацій використані при математичному моделюванні процесу екструзії. При обробці структурованих дисперсних систем в машинах і апаратах переважне значення мають дотичні напруження і деформації зсуву. Навіть при деформаціях розтягу, стискання, кручення поряд із зовнішніми змінами форми відбуваються зміни внутрішнього розташування часток шляхом простих деформацій зсуву. Однак при них виникають не тільки дотичні, а й нормальні напруження, причому в структурах з яскраво вираженими еластичними властивостями (що характерно для мучного тіста), нормальні напруження можуть досягати значень, які перевищуватимуть відповідні значення дотичних напружень. Це явище, вперше відмічене Вайссенбергом, вже довгий час є предметом досліджень різних вчених, погляди яких значно відрізняються [5]. В наступних підрозділах з метою викладення найбільш загальних суттєвих положень реології математичні вирази записані саме для дотичних напружень і деформацій зсуву.

Багато реальних тіл, і тісто також, поєднують властивості твердого тіла і рідини, володіючи як пружно-еластичними, так і в'язкими властивостями. У дійсно в'язких (ньютонівських) рідинах при як завгодно малих напруженнях зсуву реалізується в'язка течія:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

де η – коефіцієнт динамічної в'язкості, що характеризує величину зусиль, які виникають між двома елементарними шарами рідини при їх відносному зміщенні, Па·с;

$\dot{\gamma}$ – швидкість деформації, s^{-1} .

Для безструктурних систем – дійсно в'язких рідин і газів, або для структурованих матеріалів на ділянці граничного руйнування їх структури при дотриманні умов ламінарності потоку – в'язкість при даній температурі і тиску є постійною величиною. Переважна більшість харчових матеріалів відноситься до структурованих систем. У виробничих умовах обробка напівфабрикатів здійснюється за таких технологічних режимів, які не призводять до граничного руйнування їх структури. Тому в'язкість не є сталою, називається аномальною і визначається швидкістю деформації і напруженням зсуву.

1.1.2. Типи неньютонівських матеріалів.

Уілкінсон [6] запропонував класифікувати неньютонівські матеріали в залежності від виду зв'язку між напруженням і швидкістю зсуву.

Для систем першого типу, властивості яких не залежать від часу, швидкість зсуву в кожній точці є деякою функцією тільки напруження зсуву в тій же точці: $\dot{\gamma} = f(\tau)$. До цієї групи належать бінгамівські пластики, псевдопластичні та дилатентні рідини. Опір зсуву для бінгамівських матеріалів складається з постійного опору, який залежить від структури системи, і в'язкісного опору, прямо пропорційного градієнту швидкості [6]. На відміну від бінгамівських, у псевдопластичних і дилатентних рідин відсутня межа текучості. Загальний вигляд кривої течії для рідин обох цих типів має вигляд ступеневого закону, вперше запропонованого Оствальдом:

$$\tau = B_1^* \cdot \dot{\gamma}^n \quad (1.1)$$

де B_1^* – міра консистенції рідини, Па·сⁿ. Це коефіцієнт, пропорційний ефективній в'язкості при одиничному значенні градієнта швидкості зсуву;

n – індекс течії, що характеризує ступінь неньютонівської поведінки матеріалу і визначається кутом нахилу лінії течії в логарифмічних шкалах.

Реологічні рівняння, які використовуються на практиці, описують рідину в обмеженому діапазоні $\dot{\gamma}$, при цьому n можна вважати сталим. Принциповою відмінністю між псевдопластичними і дилатентними рідинами є характер залежності в'язкості від швидкості зсуву. Для перших вона зменшується зі збільшенням $\dot{\gamma}$, для других – збільшується. Відповідно індекс течії для псевдопластичних рідин знаходиться в межах $0 < n < 1$, для дилатентних $n > 1$.

Для матеріалів, які володіють дійсним або уявним граничним напруженням зсуву, можна застосовувати видозмінене рівняння (1.1), назване моделлю Гершеля–Балклі:

$$\tau - \tau_k = B_1^* \cdot \dot{\gamma}^n \quad (1.2)$$

Останній вираз знайшов широке використання при дослідженні реологічних властивостей напівфабрикатів хлібопекарського виробництва [7].

До другої групи неньютонівських матеріалів належать тиксотропні та реопектні системи, властивості яких залежать від часу дії напруження. Якщо тиксотропний матеріал, що перебував у стані спокою, деформувати з постійною швидкістю зсуву, то з часом його структура буде поступово руйнуватися, а уявна в'язкість знижуватися [8]. Тиксотропія є оберненим процесом, і після припинення деформування структура матеріалу поступово, завдяки броунівським зіткненням часток, відновиться. Відновлення структури відбуватиметься і при течії системи зі швидкістю менше тої, яка обумовила дану ступінь руйнування. Реопектним рідинам властиве поступове структуроутворення при невеликих швидкостях зсуву, однак при перевищенні певної критичної величини зсуву утворення структури не відбувається.

Більш складні системи, які володіють властивостями як твердого тіла, так і рідини, називають в'язкопружними і відносять до третьої групи неньютонівських рідин. Вони проявляють і пружне відновлення форми, і в'язку течію. Математичний опис поведінки таких систем хоча і не є

досконалим, все ж досить точно відображає процеси, що в них відбуваються. Одне з перших рівнянь для опису властивостей твердо-рідких матеріалів було запропоновано Максвеллом:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{1}{G} \cdot \frac{d\tau}{dt} + \frac{\tau}{\eta} \quad (1.3)$$

Припустивши, що деформація постійна, і проінтегрувавши (1.3), отримаємо рівняння, назване експоненціальним законом релаксації напружень [7]:

$$\tau = \tau_1 \cdot e^{-t/T}$$

де τ_1 , τ – початкове і поточне значення напруження, Па;

t – час, с;

T – період релаксації, с. $T = \eta/G$.

Період релаксації T , за який напруження зменшується в e разів, характеризує швидкість релаксації внутрішніх напружень, утворених в зразку під час деформації. Для тіста його величина вимірюється секундами або хвилинами. Якщо тривалість дії сили менше періоду релаксації, енергія, яка підводиться до системи, викликає пружні деформації по всьому об'єму, інакше процес відбувається з накопиченням енергії, що призводить до залишкових деформацій [7]. Для структурованих систем період релаксації не є сталою величиною, а залежить від напруження зсуву, і ця залежність нелінійна.

Для в'язкопружних рідин існує багато інших рівнянь [4,7], але всі вони містять похідні по часу як від напруження зсуву, так і від деформації. Як правило, їх розв'язок для реальних рідин є складним.

В дисертаційній роботі для опису реологічних властивостей тіста використана модель Гершеля – Балклі. Можливість її застосування для опису властивостей напівфабрикатів хлібопекарського виробництва обумовлюється існуванням граничного напруження зсуву тістових напівфабрикатів, а також

нелінійним характером зв'язку між напруженням і швидкістю зсуву, про що свідчать результати численних експериментальних досліджень, представлені в літературі. Використання більш складних рівнянь в інженерній практиці недоцільне, оскільки призводить до значного ускладнення процедури визначення реологічних характеристик. Трьохконстантна модель Гершеля – Балклі враховує всі найбільш суттєві особливості поведінки вибродженого тіста, а саме існування такого значення напруження, нижче якого зсуву не спостерігається, і зміну в'язкості тіста в залежності від умов навантаження.

1.2. Характеристики дисперсних структур в умовах руйнування

Для характеристики дисперсних структур в умовах руйнування структури користуються методикою $\tau(\dot{\gamma})$ при $\dot{\gamma} = const$. На її основі можна побудувати повні реологічні криві течії структурованих дисперсних систем в координатах $\dot{\gamma}(\tau)$, $\eta(\tau)$, $\eta(\dot{\gamma})$ або у логарифмічному масштабі вказаних величин. Однак для отримання початкової ділянки повної реологічної кривої, яка характеризується найбільшою в'язкістю практично незруйнованої структури, можна користуватися методикою $\dot{\gamma}(t)$ при $\tau = const$. В загальному вигляді повна крива течії $\dot{\gamma}(\tau)$ має S-подібний характер (рис.1.1) і умовно розбивається на певні ділянки, обмежені характерними значеннями напружень. Крива течії може бути отримана для таких коагуляційних структур, в яких зберігається здатність до повного тиксотропного відновлення після руйнування [9].

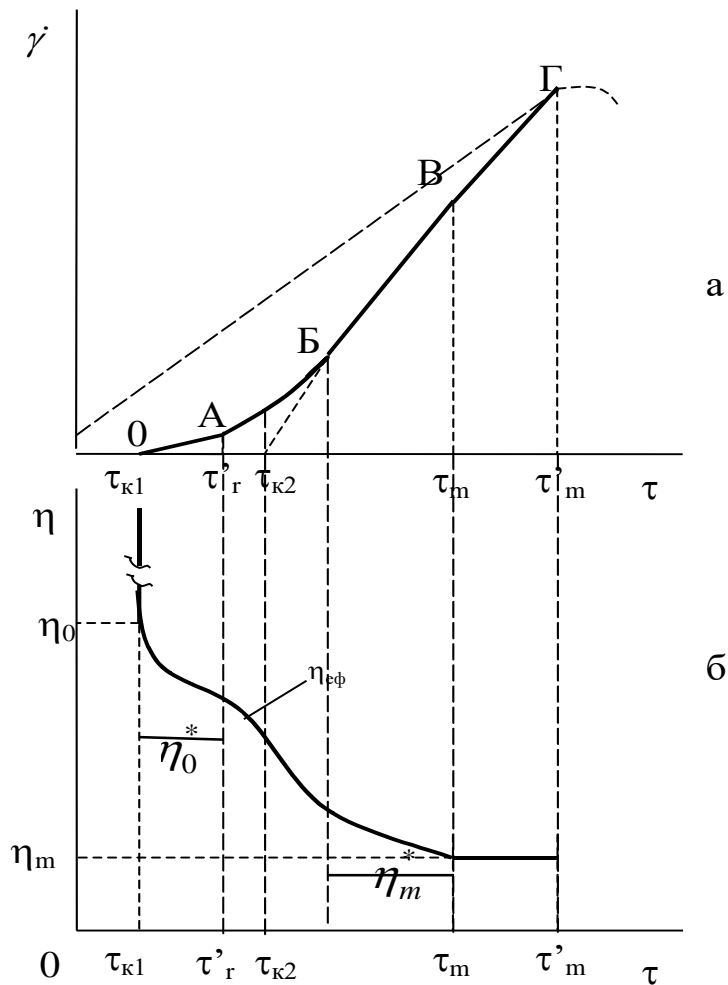


Рис.1.1. Залежність швидкості деформації (а) і в'язкості (б) неньютонівського твердоподібного тіла від напруження зсуву

Нижче умовної статичної межі текучості $\tau_{к1}$ течії не спостерігається при найбільшій можливій тривалості вимірів, тобто в'язкість і період релаксації в зоні $\tau < \tau_{к1}$ (пружній зоні) вважаються безмежно великими. При накладанні напружень $\tau_{к1} \leq \tau < \tau'_r$ (до умовної межі практично незруйнованої структури τ'_r), відбувається дуже повільна течія типу повзучості. Для системи характерна максимальна в'язкість практично незруйнованої структури η_0 , що відповідає лінійній ділянці OA (див. рис.1.1). При подальшому збільшенні напруження до $\tau_{к2}$ відбувається лавиноподібне руйнування жорсткого каркаса і в'язкість структури стрибкоподібно зменшується (ділянка AB).

Зона пластично-в'язкої течії BB характеризується достатньо постійною в'язкістю. Тут поряд із руйнуванням структури відбуваються і процеси її відновлення: при безперервному зсувовому деформуванні течія

супроводжується розпадом структури на агрегати з часток і одночасно виникають нові агрегати. Причиною цього є ефект орієнтації молекул матеріалу в напрямку течії, випрямлення їх спіралеподібної форми і, як наслідок, утворення додаткових зв'язків.

При перевищенні умовної межі гранично зруйнованої структури τ_m (ділянка ВГ) система характеризується найменшою в'язкістю гранично зруйнованої структури η_m . Така течія виникає при максимальній швидкості деформації і супроводжується розпадом структури на “первинні” частки. В точці Г можуть починатися турбулізація потоку і ускладнення законів течії.

Ефективна в'язкість, яку отримують по повній реологічній кривій, вважається основною характеристикою структурно-механічних властивостей дисперсних систем. Саме вона описує рівноважний стан між процесами руйнування і відновлення структури в усталеному потоці. Крива течії дисперсних систем характеризує ступінь рівноважного руйнування структури від інтенсивності механічних впливів у всьому можливому діапазоні зміни ефективної в'язкості $\eta_{\text{ef}}=f(\tau)$ [9]. Численні експериментальні факти підтверджують, що на кривих течії різних матеріалів існують ділянки, де залежність $\dot{\gamma}(\tau)$ лінійна, а значить пластична в'язкість постійна (див. рис. 1.1, зони ОА і БВ). З цього випливає, що єдиної формули, яка охоплює всі режими течії і не суперечить наявності лінійних ділянок на реологічній кривій, не може існувати. Жодна формула при скінчених значеннях $\dot{\gamma}$ не може в одному інтервалі давати лінійну, а в іншому – нелінійну залежність. Для практичних потреб немає необхідності будувати повну криву течії, адже, як правило, заздалегідь відомі межі напружень і швидкостей деформацій, характерні для даного технологічного процесу. Тому в літературі наводяться експериментальні залежності, наприклад в'язкості, із вказівкою меж швидкостей деформацій, в яких запропонована формула може застосовуватися. Взагалі, структуровані дисперсні системи не можуть характеризуватися одним значенням ефективної в'язкості без зазначення швидкості зсуву або напруження [5].

Будь-який реальний матеріал володіє всіма реологічними властивостями, вираженими різною мірою. Відповідно і дріжджове пшеничне тісто, в залежності від величини напружень, часу їх дії, швидкості деформації може проявляти пружно-еластичні або пластично-в'язкі властивості. Користуючись кривими кінетики деформації, в умовах незруйнованої структури визначають модулі пружності G_1 і еластичності G_2 , найбільшу пластичну в'язкість, умовну статичну межу текучості, а також розраховують періоди релаксації. В області зруйнованої структури з допомогою кривих течії додатково отримують залежності ефективної в'язкості від напруження зсуву, ряд важливих міцнісних характеристик. Тобто повний комплекс реологічних характеристик дисперсних структурованих систем може бути отриманий сукупністю цих методів.

1.3. Структуроутворення тіста при процесі замішування

Кінцевою метою формування виробів екструзією є отримання напівфабрикатів або готових виробів з найкращими показниками якості. При цьому має бути забезпечена ефективність технологічного процесу і досягнута задана продуктивність. На рис.1.2 наведена спрощена модель Мюзера у застосуванні до випадку формування тіста в екструдері з поршнеvim нагнітачем, яка представляє собою зв'язок між факторами, що впливають на процес, системними параметрами і характеристиками готового продукту.

Тобто, на системні змінні процесу і характеристики екструдату можуть вплинути кількісний і якісний склад інгредієнтів тіста, конфігурація обладнання, режими формування – температура і, головне, тиск. Змінюючи вказані фактори, можна визначити раціональні умови проведення процесу для отримання різних типів продукції.

На процес утворення тіста найбільше впливає мука, основними складовими частками якої є білки і вуглеводи (крохмаль) – високомолекулярні речовини, макромолекули яких містять кілька тисяч атомів різних елементів. Їх взаємодія з водою призводить до утворення відповідної складної структури мучного тіста. Пшеничне тісто відрізняється еластично-пластично-в'язкими

властивостями, причому еластичність обумовлена білками клейковини, а пластично-в'язкі властивості – значною мірою крохмалем. При утворенні тіста переважає енергія когезії, тобто зв'язки між різними макромолекулами однієї і тієї ж речовини виявляються міцнішими за зв'язки між частками різних речовин (білків або крохмалю з водою). Це призводить до утворення в тісті міцелярно-дисперсної системи, коли матеріал набухає та розпадається на окремі агрегати макромолекул (міцели), не переходячи в розчин. Відповідно виникають певні види зв'язку вологи в тісті – осмотичний, адсорбційний і механічний.



Рис.1.2. Модель Мюзера

На співвідношення між вільною і зв'язаною вологою в тісті впливає склад води. Відомо, що іони Ca^{2+} і Mg^{2+} здатні адсорбуватися на поверхні білкових молекул, збільшуючи долю зв'язаної вологи в тісті. Використання високоочищеної води здатне “підсилювати” тістову масу. Така вода, володіючи підвищеною активністю і полярністю, знижує енергетичний бар'єр і товщину гідратних оболонок білкових молекул, сприяючи їх коагуляції. Таким чином, змінюючи склад води, можна регулювати зв'язок вологи з матеріалом, що дає можливість коректувати реологічні і, в підсумку, якісні, властивості тіста і хлібних виробів. Однак на них впливає не тільки якісний склад води, а й її

кількість у тісті. Підвищення вологості тіста спричиняє зменшення граничного напруження зсуву, модуля пружності і в'язкості.

Замість тіста з різною за якістю борошна потребує різної механічної обробки тіста. При її оптимальній інтенсивності під дією напружень, які виникають в тісті, макромолекули клейковини частково руйнуються, але внаслідок внутрішньої перебудови структури знову відновлюються, і клейковина стає еластичною. Посилена механічна обробка може призвести до розриву макромолекул із порушенням поперечних зв'язків. В результаті тісто стане розтяжним та липким, і якість виробів погіршиться. У хлібопекарській промисловості при замісі тіста із слабкої муки доцільно застосовувати деформації зсуву, характерні для місильних машин із Z- подібними робочими органами, оскільки в процесі такого замісу спостерігається зміцнення структури тіста. В той же час для приготування тіста із сильної муки краще застосовувати обладнання, в якому переважають деформації розтягу (наприклад, місильні машини із пальцевими робочими органами). Взагалі, сила муки значно впливає на реологічні та адгезійні характеристики напівфабрикатів. Порівняно зі зразками тіста із середньої і слабкої муки, тісто із сильної муки має підвищені значення граничного напруження зсуву і енергії активації в'язкої течії.

При замісі тіста завершується в основному адсорбційне зв'язування води білками, крохмалем і висівковими частками. Процеси набухання колоїдів продовжують інтенсивно розвиватися протягом бродіння тіста. Зміна реологічних характеристик при бродінні тістових напівфабрикатів в основному обумовлена впливом різних факторів на білкові речовини. Зокрема, збільшення при бродінні кислотності тіста підвищує активність власних протеолітичних ферментів муки, що призводить до деполімеризації, дезагрегації молекул білка з утворенням молекул меншого розміру. Змінюється також розчинність білків, їх гідратаційна здатність. В результаті збродження дріжджами сахарів відбувається перерозподіл води. Частина води, яка зв'язується сахарами, стає ніби "вільною", що призводить до

послаблення пружно-в'язких властивостей тіста. Така сумісна дія протеолітичних ферментів і перерозподіл зв'язаної вологи окремими частинами тіста викликає зниження в'язкості в процесі бродіння. Однак при тривалому часі бродіння в'язкість, досягнувши свого мінімального значення, починає поступово збільшуватися до деякої постійної величини. Ніколаєв, пояснюючи даний ефект для пшеничного дріжджового тіста, головну роль відводить утворенню газової фази під час бродіння. На його думку, саме деформації сферичних стінок газових пор, які супроводжуються орієнтацією білків та інших полімерів у напрямку зсуву, з часом викликають утворення між ними додаткових міжмолекулярних зв'язків і, як наслідок, збільшення в'язкості тіста.

Додавання солі зміцнює консистенцію тіста, що пов'язано зі зниженням активності амілаз і атакованості ними крохмалю. На практиці це часто використовують для зниження липкості тіста і покращення роботи обладнання, однак при цьому можуть погіршуватися процеси бродіння і вистоювання тістових напівфабрикатів. Концентрація солі по-різному впливає на розтяжність клейковини. Малі кількості солі збільшують її, а більші – зменшують.

1.4. Застосування математичного моделювання при дослідженні процесів

Враховуючи стрімкий розвиток і великі можливості сучасної обчислювальної техніки, при вирішенні задачі визначення необхідних параметрів проведення процесу формування і подальшої розробки відповідного обладнання варто користуватися методами математичного моделювання.

В галузі екструзії математичне моделювання застосовують досить широко. Серед матеріалів, які розглядалися іншими авторами, найбільший інтерес викликають крохмалемісткі матеріали, напівфабрикати із кукурудзяної муки з добавками волокон буряка і суміш хлібної крихти з черствого і деформованого хліба з добавками буряково-патокового порошку. Хоча всі

перераховані моделі розроблені для випадку високотемпературної екструзії і моделюють поведінку матеріалів у неізотермічних умовах, ознайомлення з ними має досить велике значення. Так, у наведено рівняння регресії, яке представляє собою зв'язок між показниками якості та параметрами, що на них впливають – питомою механічною енергією, температурою, тиском матеріалу перед матрицею і вмістом клейстеризованого крохмалю.

В роботі [11] запропонована модель, що описує динаміку росту пухирчиків при екструдванні крохмалемістких матеріалів. Розглядаються втрати в навколишнє середовище теплоти і вологи з комірки, розміри якої збільшуються, і вплив зовнішніх умов на цей процес.

Реологічні рівняння, які використовуються у всіх перерахованих роботах, не можуть задовільно описати поведінку дріжджового тіста, яке характеризується як пружно-пластично-в'язкий матеріал, тому є потреба знайти інший вираз для рівняння стану. Окрім того, і залежність в'язкості від зовнішніх умов повинна характеризувати саме пшеничне дріжджове тісто відповідної рецептури. Недоліком вище згаданих робіт є неврахування сил тертя, що спрощує розв'язок поставлених задач, але не дозволяє отримувати реальну картину процесу. Таким чином, створювати математичну модель процесу замішування дріжджового пшеничного тіста слід з урахуванням реологічних особливостей матеріалу, що деформується, а також явищ, характерних для процесу – тертя і розбухання екструдату на виході з формуючого каналу.

1.6. Аналіз роботи конструктивних елементів існуючих тістомісильних машин

В даний час в хлібопекарській промисловості розвинених країн використовуємося велика кількість різноманітних тістомісильних машин. Тістомісильні машини займають одне з провідних місць в технологічній лінії при виготовленні хлібобулочних виробів. Якість замісу опари та тіста суттєво впливає на якість готових виробів. Основними етапами технологічного процесу замішування тіста є підготовка вихідних

компонентів, їх дозування, перемішування. Однорідність тіста є основною вимогою якості, адже від того, наскільки рівномірно окремі компоненти будуть розподілені в основному об'ємі, залежать характеристики одержаного готового продукту. Саме тому тістомісильна машина є найбільш відповідальним обладнанням технологічного ланцюга з виготовлення хлібобулочних виробів.

На сучасному етапі розвитку хлібопекарської промисловості для виробництва хлібобулочних виробів використовуються тістомісильні машини різних конструкцій [3,4]. Найбільш поширеними є машини циклічної та безперервної дії. Причому, частіш за все зустрічаються періодичні (циклічні) тістомісильні машини з горизонтальним та вертикальним привідним валом. Вони характеризуються гнучкістю при роботі із компонентами різного складу, а циклічність процесу замішування дозволяє готувати їх в об'ємі, що дорівнює одному замісу. Для вивчення та удосконалення різного класу тістомісильних машин необхідно знати їх структуру та функціональне призначення окремих конструктивних елементів. При сучасній різноманітності тістомісильних машин, що використовується в хлібопекарській промисловості, їх можна класифікувати за загальними ознаками:

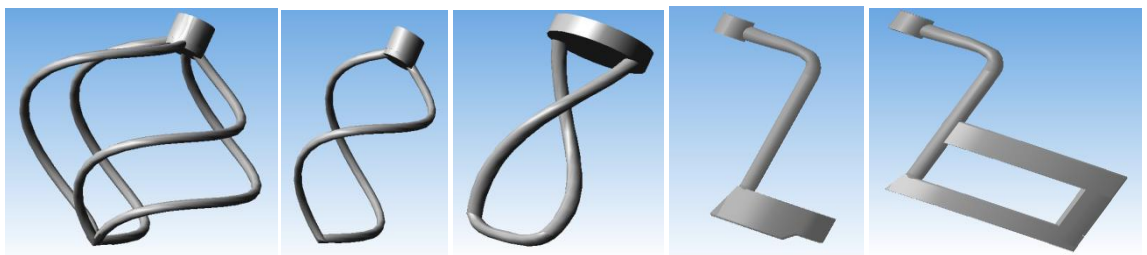
1. характером (способом) дії на компоненти, що обробляються;
2. структурою робочого циклу;
3. ступенем механізації та автоматизації;
4. принципом взаємозв'язку у виробничому потоці;
5. функціональною ознакою.

У сучасних машинах робочий орган має постійну і незмінну геометричну форму, певне місце і просторову орієнтацію в ємкості. За класичною схемою побудовані, наприклад, тістомісильні машини А2-ХТБ, ІС-120, ДК, І8-ХТА, А2-ХТТ, машини європейських виробників і багато інших. При таких схемах можна регулювати тільки число обертів її робочого органу. У відомих вітчизняних тістомісильних машинах число

обертів в основному не регулюється. Таким чином, практично відсутня можливість впливати на якість перемішування. Такі тістомісильні машини конструктивно є складними в управлінні та обслуговуванні. До такого класу тістомісильних машин відносяться «Твіді», ІМК-150, «Таглавіні» (Італія), «Глімек» (Швеція), «Діосна» (Німеччина).

Машини з одним робочим органом по своїй конструкції є простими. В них виконавчі механізми характеризуються умовами роботи робочого органу (рис.1.3). Робочий орган знаходиться у безпосередньому контакті з компонентами, які замішуються продовж всього циклу. Тому вони працюють у постійно змінних умовах. До такого класу машин можна віднести вище згадані та ІС-120, ЕSI-140/80, ДК, А2-ХТБ і багато інших.

Відомі також тістомісильні машини безперервної і періодичної роботи, робочі органи яких знаходяться в контакті з компонентами, що замішуються, лише на протязі частини циклу руху (робоче переміщення). Інший час робочі органи знаходяться в неробочому положенні (холосте переміщення). До такого класу машин можна віднести ТММ-1М, Т1-ХТ2А, фірми «Луїзель» (Франція), «Діосна» (Німеччина). Тістомісильні машини приводять в рух робочі органи, головним чином, індивідуальними електродвигунами.



а) б) в) г) д)

Рис. 1.3. Постійно діючі робочі органи: а – вінець; б – цикл; в – плаха; г – зачепа; д – захват.

Необхідність зменшувати витрати енергії на заміс обумовлює відмову деяких виробників тістомісильного обладнання від обертання діжі. Щоб

забезпечити при цьому якісний заміс, необхідно за допомогою робочого органу забезпечити достатню циркуляцію тіста. Так, розроблено (рис. 1.4) просторовий тістомісильний механізм, що складається з гідроциліндра зворотно-поступальної дії та тістомісильної лапи. Поршень зі штоком гідроциліндра виконаний як одне ціле з кутниковим важелем, що входять зі стійкою і з просторовим коромислом у циліндричні кінематичні пари (четвертого класу), а просторове коромисло, жорстко поєднане з лапою тістомісильного механізму, з'єднане зі стійкою через сферичну кінематичну пару (третього класу). Винахід дозволяє покращити якість перемішування тіста і спростити конструкцію механізму.

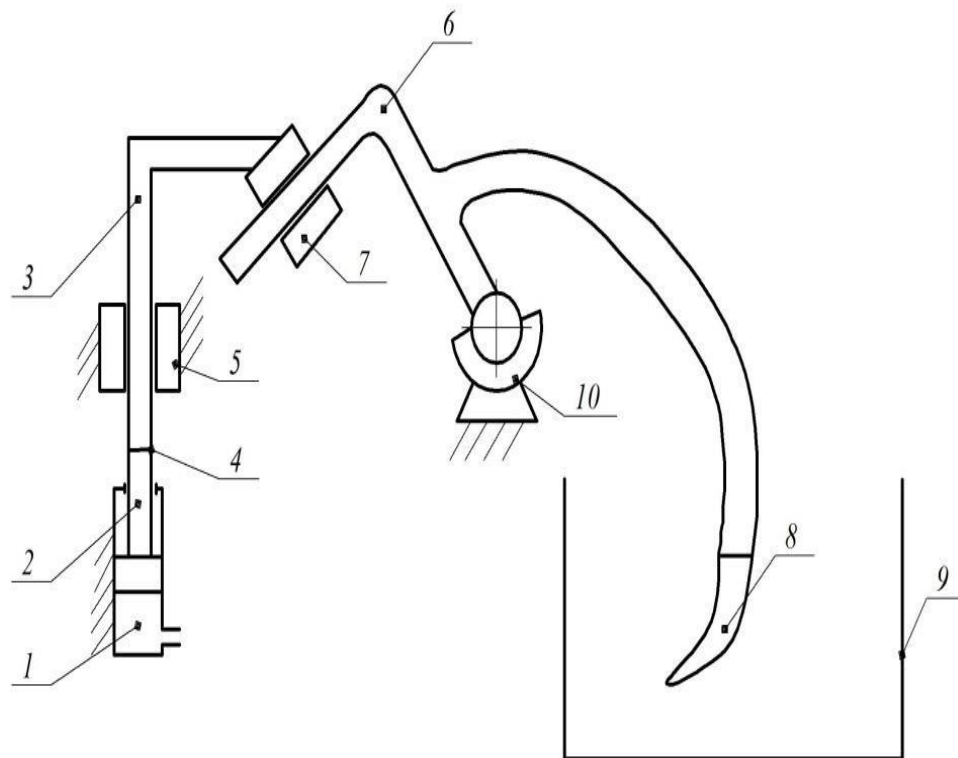


Рис. 1.4. Просторовий тістомісильний механізм: 1 – гідроциліндр; 2 – шток поршня; 3 – кутників важіль; 4 – жорстке з'єднання; 5, 7 – циліндричні кінематичні пари (четвертого класу); 6 – просторове коромисло; 8 – тістомісильна лапа; 9 – ємкість з тістом; 10 – сферична кінематична пара (третього класу).

Проблема узгодження їх робочих режимів з параметрами сировини та іншими складовими рецептури, вирішується різними винахідниками по-різному. Необхідно передбачити, щоб робочі органи машини виконували

таку механічну дію на компоненти, яка буде спрямована на створення умов для різних процесів та операцій, зв'язаних певною послідовністю. Така машина забезпечить прискорення процесів, економію праці та виробничих площ, зменшення втрат, зниження використання енергії та зменшення експлуатаційних витрат.

Аналіз існуючого обладнання та технологій показує, що в провідних фірмах-виробниках тістомісильної техніки для хлібопекарської галузі в даний час існує стійка тенденція до створення комп'ютерно-керованих технологічних машин та інтегральних технологій. Однак слід підкреслити, що робочі органи існуючих машин мають постійну і незмінну геометричну форму. Регулюється в таких машинах лише число обертів привідного валу. Цілком очевидно, що такі технічні рішення нічого принципово нового не дають, але серйозно ускладнюють кінематику машини, її обслуговування та управління.

Проте природні обмеження, що пов'язані з швидкостями протікання в тісті фізико-хімічних, біохімічних та інших процесів – є серйозною перешкодою для подальшого розвитку цього напрямку. Аналіз якості хлібобулочних виробів підтверджує, що багато технологічних процесів замішування вже досягли або наблизилися до своїх граничних параметрів. Спроба подальшого їх прискорення за рахунок інтенсифікації роботи машин шляхом підвищення робочих параметрів може привести до суттєвого погіршення якості готових виробів.

З короткого аналізу особливостей і стану сучасного обладнання і способів процесу замішування випливає, що проблема пошуку нових напрямків у харчовому машинобудуванні і способів замішування, які вирішили б частково або повністю перераховані проблеми, як і раніше надзвичайно актуальна.

1.6.1. Вибір раціональної схеми робочого органа тістомісильних машин

В тістомісильних машинах малої і середньої продуктивності слід застосовувати такі технічні рішення, щоб вони, з одного боку, були на одному рівні з машинами більш високої продуктивності за питомими техніко-економічними показниками, а з другого боку – мали коефіцієнт технологічної та технічної надійності.

Для створення ресурсозберігаючих конструкцій робочих органів машин необхідне напрацювання бази даних як на основі відбору даних із аналізу існуючих результатів досліджень, так і шляхом виконання спеціальних теоретичних та експериментальних досліджень з визначення раціональних параметрів та режимів виконання технологічного процесу замішування в нових умовах використання. Така технологія передбачає виконання комплексу основних та допоміжних операцій щодо завантаження в робочу камеру сировини шляхом її якісного дозування, змішування у зважувальному стані та замішування в багатогранній робочій камері при сприянні ефектів вібраційних впливів. При невеликих обсягах замішування загальної маси суміші компонентів, потужність засобів приводу повинні бути мінімізованими та раціональними. Це дає можливість розробляти малогабаритні машини, які можна безпосередньо встановлювати в лініях для виробництва хлібобулочних виробів і бути жорстко ув'язаною з іншими одиницями технологічного обладнання (дозуюча, тістоділильна, округлювальна техніка).

Разом з тим, принцип роботи створених за останній час таких тістомісильних машин не дозволяє отримати належну надійність та довговічність конструкції, в першу чергу, завдяки нераціональному розподілу питомої енергії в камері машини (нагрівання тіста). Тому визначення характеристик переміщення дозуючих компонентів в зоні завантаження, переміщення по поверхні місильного органа і робочої камери з змішуванням, обґрунтування раціонального режиму обертання, дозволить підвищити технологічну та технічну надійність роботи машини.

До цього часу це питання залишається поза увагою дослідників. Його вирішення вимагає проведення теоретичних та експериментальних досліджень, виробничої перевірки, а на першому етапі – проведення аналізу відповідного технічного рішення, що закладаються в конструкцію експериментальної установки, та її створення для виконання досліджень в широкому діапазоні умов застосування робочого органу в машинах.

На показники роботи машини впливають не всі конструктивні елементи виконання машини, а лише ті фактори, що призводять до зміни якісних показників, технічних та кінематичних. В цілому діючі фактори пов'язані з двома основними вузлами: робочим органом та конструкцією робочої камери.

1.6. Висновки і задачі наукових досліджень

На жаль, реологічні характеристики, масообмінні властивості та поверхневі умови взаємодії матеріалів, наведені в літературі, залежать від часткових виробничих умов, і тому значно відрізняються у різних авторів. Окрім того, визначення чисельних значень характеристик потребує дослідів для кожного конкретного напівфабрикату, бо навіть незначна зміна рецептурного складу спроможна змінити їх значення у кілька разів. Вихідними даними для конструювання обладнання і створення математичної моделі процесу замішування є структурно-механічні характеристики матеріалу, що формується. Їх дослідження для різних продуктів харчової промисловості широко проводилися до середини 80-х рр. ХХ ст., про що свідчить велика кількість монографій, дисертацій, статей у фахових журналах, присвячених питанням реології, зокрема властивостям тіста. Останнім часом простежується відродження зацікавленості до вивчення структурно-механічних характеристик матеріалів. Це, окрім іншого, пов'язано з необхідністю контролю виробництва, а структурно-механічні характеристики можуть виступати об'єктивним критерієм якості напівфабрикатів і готової продукції.

Виходячи з вищесказаного, задачами досліджень процесу замішування і дозрівання пшеничного дріжджового тіста є:

1) визначення гідродинаміки руху рідинного середовища в робочій камері лабораторної установки;

2) встановлення чисельних значень реологічних характеристик пшеничного дріжджового тіста;

3) розробка математичної моделі, алгоритмів і програмного забезпечення процесу для нових конструкцій обочих органів;

4) дослідження кінетики накопичення CO₂ за різних умов бродіння і впливу конструктивних параметрів на цей процес;

5) аналіз напружено-деформованого стану тіста при дії тарільчастих обочих органів.

Висновки по розділу 1.

Огляд літературних джерел дозволив зробити наступні висновки.

1. Замішування тіста є трьохстадійним процесом. Кожна стадія визначається домінуючими процесами, що проходять за період замішування, і вимагає специфічних умов впливу на утворення тіста.
2. Хлібне тісто є гомогенною пружно – пластичною капілярно – пористою масою, що проявляє структурно – механічні властивості не ньютонівської рідини.
3. Інтенсифікація процесу замішування може досягатися шляхом збільшення часу замісу або збільшенням частоти обертання робочих органів. Причому, існує «критичне» значення питомої роботи, тільки досягнення якої дозволяє одержати позитивний ефект. «Критична» інтенсивність механічної дії залежить від якості борошна, рецептурних добавок та технологічних і конструктивних факторів.

РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМА, МЕТОДИ Й ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма проведення аналітичних і експериментальних досліджень

Метою даної роботи було дослідити і вдосконалити процес інтенсифікації змішування тіста на змішувачі А2-ХТТ. Ґрунтуючись основними положеннями сучасної теорії замішування . Реалізувати отримані дані при розробці технічного рішення нової тістомісильної машини.

Метою магістерської є розроблення вирізки робочої камери та робочих органів машини А2-ХТТ, конструкція якої спрямована на інтенсивність змішування тіста, зменшення витрат енергії та покращання якості хліба. Основним напрямком дослідження спрямоване на інтенсивність роботи ТМ безперервної дії. Енергія дії РО повинна витратитися на змішування, а не на зовнішнє тертя тіста зі стінками місильної камери та робочими органами. Така дія супроводжується нагріванням замішуваного тіста. Тому конструктивні елементи конфігурації робочих органів та форми впливають на процес.

Визначені напрямки проведення аналітичних та експериментальних досліджень, запропонована програма для реалізації. Відповідно розглянуто підхід із етапами проведення досліджень, які спрямовані на розробку нових робочих органів. Їх дія має покращити властивості тіста при його утворенні за рахунок використання зміни гідродинаміки в робочій камері машини [5]. Схема напрямків аналітичних і експериментальних досліджень використання нових робочих органів наведена на рис. 2.1.

Аналітичні дослідження включають розгляд питань, пов'язаних з сучасними вимогами до якості замішування тіста, реологічних властивостей і якості готової продукції. На основі оцінки конструктивних

елементів робочих органів, реологічних властивостей зазначено основні

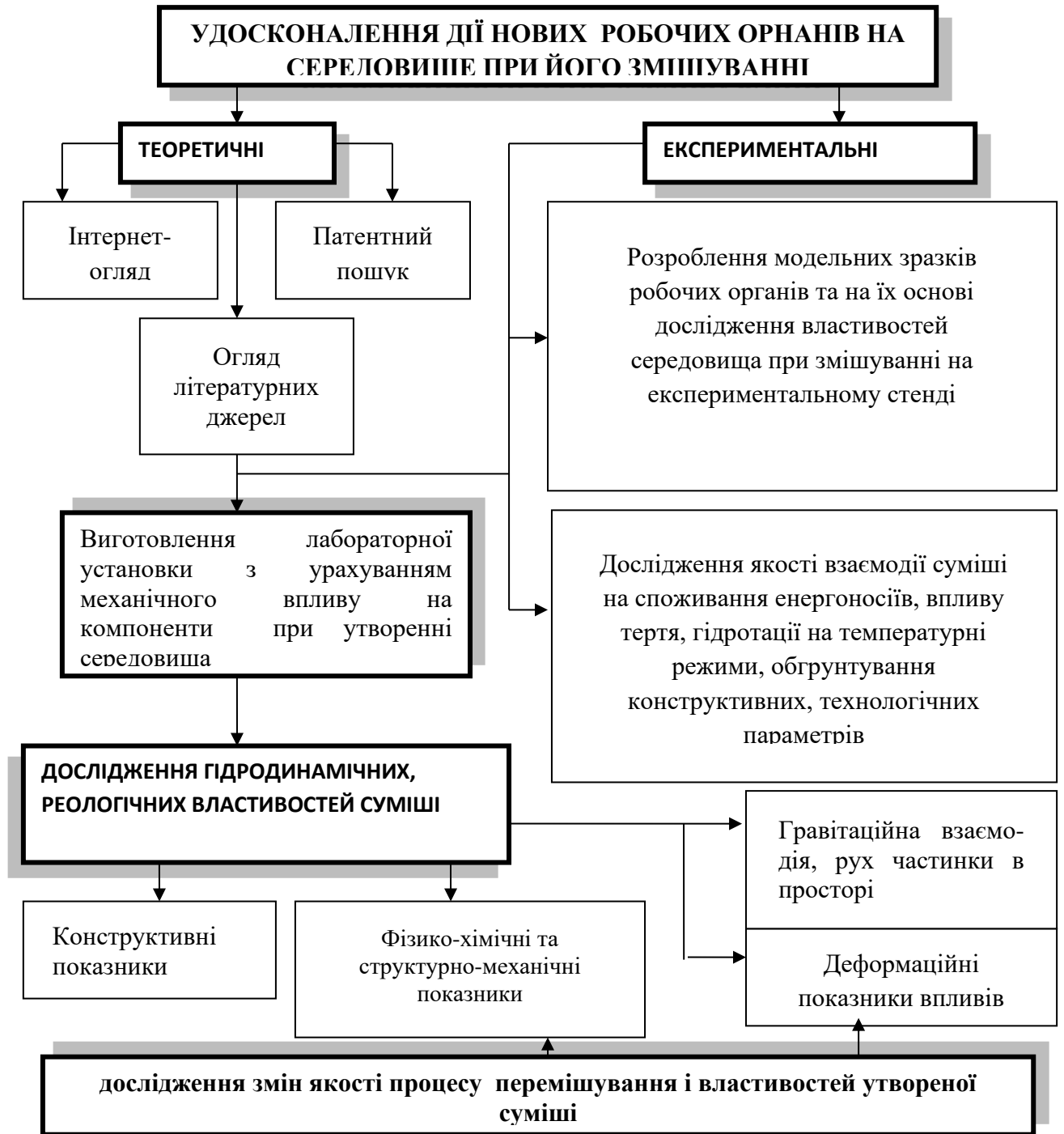


Рис.2.1. Схема напрямків аналітичних і експериментальних досліджень

проблеми, що перешкоджають їм якісного змішування компонентів. Теоретично обґрунтовано вибір перспективних тарільчастих РО та основні етапи досліджень.

Аналіз теоретичних положень у визначенні напрямків сучасної теорії замішування зумовлює проводити вдосконалення інтенсифікації даного процесу на базі розробок тістомісильних машин. У роботах [2,5,6,7] розкрито механізми проведення інтенсифікації змішування.

Механічна дія РО на фізичну структуру тіста має створювати умови для керування відповідних їх властивостей. Ця дія передбачає не змінювати структуру, пружно-пластичні властивості середовища, одночасно на структуру тіста чинить вплив хімічний склад борошна, технологічна схема і конструкція РО ТМ [6,7].

Відповідно теоретичних положень конструкція РО машини механічну енергію перетворює на енергію перемішування [5,6]. Тому необхідно ефективно спрямувати енергію так, щоб отримати максимальну консистенцію тіста при оптимальній питомій роботі. Непередбачувані затрати енергії: сил гравітації, опору тіста при переміщенні в робочій камері машини, а також спостерігаються витрати енергії при релаксації тіста [6,7].

Об'єктивний аналіз закономірностей замішування тіста дозволяє оцінити переваги і недоліки і визначити перспективність досліджень у цьому напрямку. Вибрано об'єкти досліджень та сформульовано такі завдання:

- розробити нові робочі органи;
- провести визначення гідродинаміки рідинного руху в камері машини;
- встановити раціональний режим приготування тіста на лабораторній установці;
- встановити особливості дії тарільчастих робочих органів при інтенсивному замішуванні тіста;
- визначити тривалість бродіння тіста від обертання РО;
- розробити математичну модель визначення питомої роботи процесу тістоутворення;
- визначити оптимальні параметри процесу.

Експериментальна частина роботи виконувалася в лабораторіях кафедри обладнання харчових технологій ТНТУ імені Івана Пулюя.

2.2. Завдання та характеристика об'єкту дослідження

При проведенні лабораторних досліджень використовували сировину: –хлібопекарське борошно вищого сорту з середніми та заниженими властивостями. Показники хлібопекарських властивостей борошна наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Хлібопекарські властивості пшеничного борошна, що використовувалось при проведенні досліджень

№ партії	Сорт борошна	Вологість борошна, %	Характеристики клейковини			Газоутворювальна здатність, см ³ /100 г
			Вміст сирої клейковини, %	Пружність на ВДК-1, од. пр.	Розтяжність, см	
1	вищий	13,2	29,6	81	17,0	1320
2	вищий	13,6	26,8	75	15,0	1360
3	вищий	14,1	29,6	62	13,0	1380
4	вищий	12,1	23,0	70	12,5	1250
5	вищий	14,3	28,2	110	20,0	1520

За вологістю та кількістю клейковини всі партії борошна відповідають вимогам ГСТУ 46.004-99 для пшеничного борошна. За показниками пружності та розтяжності борошно відноситься до II групи якості.

- дріжджі хлібопекарські пресовані Львівського дріжджового заводу, що виготовлені за ДСТУ 4657:2006 та якість яких відповідала ДСТУ 4812:2007;
- сіль поварену харчову (ДСТУ 3583-97);
- олію соняшникову (ДСТУ 4492:2005);
- цукор-пісок (ДСТУ 4623:2006).

Предметом досліджень був процес замішування тіста та напівфабрикати: тісто, тістові заготовки.

2.2.1. Способи приготування тіста.

В лабораторних умовах тісто готували безопарним способом з використанням активованих пресованих дріжджів. Тісто замішували за допомогою розробленої вирізки тістомісильної машини. Регулювали

інтенсивність замісу зміною тривалості та частотою обертання привідного механізму. Сировину при замісі тіста у відповідності з рекомендаціями дозували у вигляді водних розчинів (солі, цукру), або суспензії (для дріжджів). Бродіння напівфабрикатів і тіста здійснювалося в термостаті ТС-80М-2 при температурі 32...34 °С [8]. Вироби формували вручну. Вистоювання вели при температурі 32...34 °С і відносній вологості повітря 78±2 % до готовності. Тривалість вистоювання визначали за об'ємом заготовок, оскільки вона не регламентована і залежить від багатьох факторів. Хліб випікали в печі при температурі 220...240 °С. Тривалість випікання залежала від маси та виду виробів. Інші параметри ведення експериментів вказані у відповідних розділах роботи.

2.2.2. Методи визначення якісних показників тіста

Загальну кислотність напівфабрикатів визначали титруванням за методикою, наважки напівфабрикату розчином 0,1 н NaOH. Аналізували також активну кислотність електрометричним способом за допомогою рН-метру згідно інструкції по використанню [8].

Визначали підйомну силу напівфабрикатів за спливанням кульки тіста, що замішувалось за загальноприйнятою рецептурою.

Відносну лінійну деформацію проб тіста розраховували за формулою [9]

$$\varepsilon = l - 1,875 / 1,875 \quad (2.1)$$

$$l = h^2 + 3,52 \quad (2.2)$$

$$h = 2,20 \cdot L - 1,74 \cdot 10^{-3} \cdot P \quad (2.3)$$

де L – розтяжність за екстенсограмою, мм;

P – опір тіста, од. екстенсографу

Нормальне напруження σ (в кПа), що виникає при деформації матеріалу розраховували за формулою : $\sigma = 21,18 \cdot P + 24,0 \cdot l + 560,0 \cdot h^2 + 3,52 \cdot \rho \cdot q \cdot 10^3 \cdot h \cdot 112,0 + 4,80 \cdot l$ (2.4)

де ρ – густина, кг/м³;

q – прискорення, м/с².

В'язко-пластичні властивості, швидкість руйнування структури тіста визначали за розпливанням кульки тіста. Газоутримувальну здатність визначали методом зміни питомого об'єму тіста при бродінні [8].

У дослідях виконувались прямі вимірювання, тобто шукані величини діставалися безпосередньо в результаті експерименту прямим порівнянням шуканої величини з мірами або за допомогою вимірювального приладу, проградуйованого в одиницях виміру.

Вимір температури проводили термометром шкалою до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ із відрахунком до $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Граничне відхилення температури у контрольних точках об'єму термостату у робочому режимі не більше $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Дріжджі і сіль зважували на аналітичних вагах із точністю до $0,1\text{ г}$, борошно і воду – на технічних вагах із точністю до $1,0\text{ г}$.

Границя допустимої основної похибки тахометра не більше $0,02\%$ від вимірюваного значення ± 1 молодшого розряду.

Визначення кислотності тіста. Титруюча кислотність характеризує якість тіста. За її показниками нами обґрунтовувався процес у заданій фазі (відношенні температури і тривалості). Це дало змогу якісно встановити готовність тіста. Значення кислотностей визначали для кожного проведеного досліді замішаного тіста на початковій і кінцевій стадіях використовуючи пристрій [10].

2.2.3. Метод енергетичного балансу

Результати дослідів по визначенні енерговитрат на замішування тіста за один оберт ТРО тістомісильної машини проводилося за математичною моделлю [9]:

$$A_5 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4,$$

де A_1 – робота, яка витрачається на перемішування маси без врахування витрат на нагрів маси за рахунок тертя, Дж/об; A_2 – переміщення ТРО, Дж/об; A_3 – нагрівання тіста і металевих частин машини, що з ним

контактують, Дж/об; A_4 – робота, що витрачається на зміну структури тіста, Дж/об (Додаток Б).

Враховуючи специфіку лабораторної установки, розпишемо кожен складову балансу енерговитрат:

$$A_1 = av\pi r n^2 \sin \alpha (r_2^2 - r_1^2) \left[(1 - K) \pi^2 (r_2^2 - r_1^2) + \frac{KS^2}{2} \right],$$

$$A_2 = 0.75av\delta\rho_{met}\pi^2 n^2 (r_2^3 + r_1^3),$$

$$A_3 = 124a\mu n \left(\frac{r_2^4 - r_1^4}{l} + \frac{2r_2^3 b \sin \alpha}{f} \right) + 124a_1\mu n \left(\frac{r_3^4}{l_1} \right)$$

$$A_4 = 0.1 \cdot A_1$$

Величину питомої роботи та інтенсивність процесу замішування визначали за формулами.

$$A_n = An\tau / m,$$

$$U = A\pi / \tau.$$

Потужність приводу тістомісильної машини визначаємо за допомогою рівняння:

$$N = \frac{A \cdot n}{\eta_1 \cdot \eta_2},$$

де η_1, η_2 – коефіцієнти корисної дії механізмів.

2.3. Фізичне моделювання

Вивчення явища відбувається при його фізичному відтворенні у різних масштабах. При цьому досліджується вплив на явище різних чинників (частіше за все фізичних: швидкості потоків, інтенсивності перемішування, температури, тиску, геометричних розмірів апарату та ін.). Моделювання розглядається з метою правильного проектування промислових установок [9].

На установці, середній між лабораторною і промисловою, вирішуються такі основні задачі:

- 1) експериментальна перевірка придатності для здійснення даного одиничного елемента процесу;
- 2) вибір найбільш придатної конструкції РО;
- 3) отримання додаткових даних про перебіг одиничного елемента процесу у лабораторних дослідженнях;
- 4) визначення показників роботи;
- 5) дослідження динаміки процесу.

Ідеальним було б таке вивчення процесу, при якому можна проектувати промислову установку у будь-якому масштабі на основі теоретичних розрахунків з використанням даних, отриманих при лабораторних дослідженнях. Таку можливість надають розрахункові методи математичного моделювання з переходом до комп'ютерного моделювання.

Замість тіста з різною за якістю борошна потребує різної механічної обробки тіста [3]. Посилена механічна обробка може призвести до розриву макромолекул із порушенням поперечних зв'язків. В результаті тісто стане розтяжним та липким, і якість виробів погіршиться [8].

2.3.1. Фізичне моделювання процесу на лабораторній установці

При дослідження структурно-механічних характеристик структурованих систем найчастіше використовують деформації зсуву. Це пояснюється тим, що зсув є найпростішою деформацією, а інші її види вважаються похідними зсуву [8]. Окрім того, вимірювання деформацій розтягу, стиску, кручення пов'язано з технічними складностями, оскільки через недостатньо високу в'язкість і пружність неможливо сформувати зразок правильної форми і закріпити його у вимірювальних приладах.

Величина структурно-механічних параметрів повинна залежати від типу або конструкції робочого органа, що можливо за умови перебування матеріалу в однорідно-напруженому стані, тобто величини швидкостей зсуву і напружень повинні бути однаковими у всьому об'ємі досліджуваного зразка.

Сутність методу полягає у визначенні взаємозв'язку між крутним моментом M і кутовою швидкістю обертання рухомої робочої поверхні робочого органа, причому нею може бути як внутрішня, так і зовнішня. Змінюючи умови навантаження, можна отримати достатньо точок для побудови кривої течії. Далі по відомим методикам переходять від залежності крутного моменту M до $\tau=f(\dot{\gamma})$, по якій і визначають основні реологічні параметри системи [11,12,15].

Тому для дослідження структурно-механічних властивостей матеріалів доцільно створювати такі умови навантаження, які найточніше імітують умови деформування матеріалу у виробничих умовах. Визначення реологічних параметрів систем може дозволити механізувати і автоматизувати виробництво, здійснивши перехід від суб'єктивної органолептичної оцінки властивостей напівфабрикатів людиною до об'єктивних методів контролю якості та готовності продуктів [12,15].

Так, щоб забезпечити однакові швидкості зсуву в масі тіста, зазор між робочими поверхнями і робочою камерою повинен бути якомога меншим. В той же час для рівномірного заповнення зазору досліджуваною високов'язкою масою його величину треба збільшувати. В зазорі між робочими поверхнями виникає цілий ряд явищ. За умови, що напруження, створювані в досліджуваному матеріалі, нижчі за граничне напруження зсуву [12,15]. Перевищення цієї межі призводить до руйнування структури, яке відбувається нерівномірно по товщині зазору, тобто матеріал розшаровується. При підвищених швидкостях деформації можливе також проковзування матеріалу відносно робочих поверхонь. Напруження створюються не тільки робочими поверхнями, а і в зазорах поверхонь робочого органа і днищ (так звані кінцеві ефекти), однак через ускладнення методики розрахунків часто ними просто нехтують. Іншим недоліком є ускладнене відведення тепла, яке виникає за рахунок внутрішнього тертя в масі. Тому в даного класу машин для замішування використовують корито великих розмірів та їх поверхня герметично не закривається [10,11].

2.3.2. Аналіз конструктивних особливостей робочого органа та його вибір

Умови обтікання твердої поверхні в'язкою рідиною суттєво залежать від її конфігурації. У випадку замісу тіста – від виду і форми поперечного перерізу перемішуючого пристрою. Аналіз літературних джерел та конструкції сучасних тістомісильних машин, дозволив зробити висновок, що значна увага приділяється робочим органам округлої чи еліптичної форми, тому зупинимося детальніше на гідродинаміці обтікання твердих тіл циліндричної форми.

Робочий орган тістомісильної машини є основним елементом, який визначає механізм його впливу на масу, що обробляється. Крім того, суттєво впливають і робочі параметри процесу, які в основному обумовлюють якість замішування тіста та готових виробів. Розроблені конструкції робочих органів подано на рис.2.2.



Рис.2.2. Фотографія робочого органу у вигляді тарілки: А-зовнішній вигляд; Б-внутрішній вигляд

Із збільшенням швидкості місильного органу, зменшується напруження зсуву, що приводить до утворення мертвих зон у нижній частині корита (зазор між нижньою частиною тарілок та днищем еорита), а також розрив

шару тіста між стінками циліндра. Оптимальну швидкість обертання в наших дослідах необхідно приймати $\omega=1350\text{об/хв}$, при якій проходить раціональне замішування тіста. Схему розміщення місильних органів зображено на рис. 2.3.

Створення фізичної лабораторної моделі дозволяє вести візуальні спостереження за гідродинамікою потоків в робочій камері при використанні багатьох варіантів робочих органів змішувачів, частоти їх обертання та зміни властивостей робочого середовища. Виділити робочі зони і ефективність роботи змішувачів і відповідність математичної моделі, що розкриває широкі можливості перед конструкторами-створювачами сучасної техніки змішувальних безперервно діючих машин.

Основні особливості установок:

1. В значній мірі скорочена тривалість замішування тіста.
2. Конструктивні елементи виконані таким чином, щоб в найменшій степені піддаватися небажаним діям рецептурних складових тіста.
3. Установка дає змогу значно зменшити в розмірах існуючу безперервно діючу тістомісильну машину, зробити її простою в обслуговуванні, забезпечити легкий перехід з одного виду продукції на інший.
4. В такій схемі роботи безперервно діючої машини можливо переробляти різне по хлібопекарським властивостям борошно, за рахунок передбачення механізму регулювання інтенсивності замішування.

Дослідження інтенсивності замішування проводили на установках із застосуванням робочих органів у вигляді тарілки.

2.4. Експериментальна установка, її особливості, допоміжні прилади

В даний час не має теорії для аналітичного дослідження дії РО машин. По цій причині при створенні тістомісильних машин віддають переваги експериментальним дослідженням.

З цією ціллю створена удосконалена конструкція лабораторної установки для змішування тіста. За допомогою можна проводити змішування із використанням різних конфігурацій робочих органів і з різними швидкостями дії робочих органів, тобто з різним ступенем інтенсивності. Лабораторна установка має прозорі стінки, що дозволяє вести візуальні спостереження за гідродинамікою потоків в робочій камері при використанні багатьох варіантів робочих органів, частоти їх обертання, зміни властивостей робочого середовища. Визначити робочі зони та ефективність роботи змішувачів в процесі приготування тіста.

Наша установка (рис 2.2) змішування тіста має робочу камеру 1. Вона є у вигляді горизонтальної прямокутної ємкості з циліндричним днищем. На горизонтальній осі розміщений вал, на якому розміщена РО 2 для змішування компонентів при різній інтенсивності. Кришки місильної камери 12, 13 виготовлені із скла, які щільно кріпляться на резинових прокладках до корпусу та камери.

Експериментальна модель машини (рис.2.2) виготовлена з прозорими стінками, що дозволяє фіксувати траєкторії руху частинок в процесі змішування. На торцевій і верхній стінках камери змонтовані оглядові вікна 4 і 5 виготовленні зі скла. Через поворотну опору в підшипниках проходить головний вал 10, до якого приєднана система приводу (клинопасова передача 2 та електродвигун 3, який з'єднаний з валом за допомогою електромагнітної муфти ковзання і використовується як варіатор), яка дозволяє обертати головний вал з частотою від 60 до 300 об/хв. На валу розташовані знімні втулки 6, які дозволяють змінювати відстань між робочими органами.

В циліндричній камері на ексцентрично розміщеному валу встановлено три з'ємні робочі органи 8. Для визначення та задавання кількості обертів головного валу встановлено електронний тахометр 1.

Модель має з'ємні робочі органи у вигляді пустотілих тарілок, на яких відпрацьовано раціональні режими процесу, а через оглядові вікна фіксувалися траєкторії руху частинок в процесі змішування.

Інші змінні характеристики: ρ - густина тіста; k - кислотність тіста; ω - динаміку бродіння; h - ріст тістової заготовки, h/D - відношення параметрів заготовки повіряли на окремих установках періодично через тридцять хвилин.

Експериментальна установка дає змогу безпосередньо визначити питому роботу замішування:

$$A_n = \frac{(\int_0^{\tau} M(\tau) d\tau)}{m},$$

де $M(\tau)$ - момент на внутрішній поверхні місильної камери; m - маса тіста в камері; τ - тривалість замішування.

На основі проведених досліджень були відпрацьовані принцип дії й раціональні режими роботи. Раціональні режими процесу замішування встановлювались за участю місильного органу у вигляді тарільчастого.

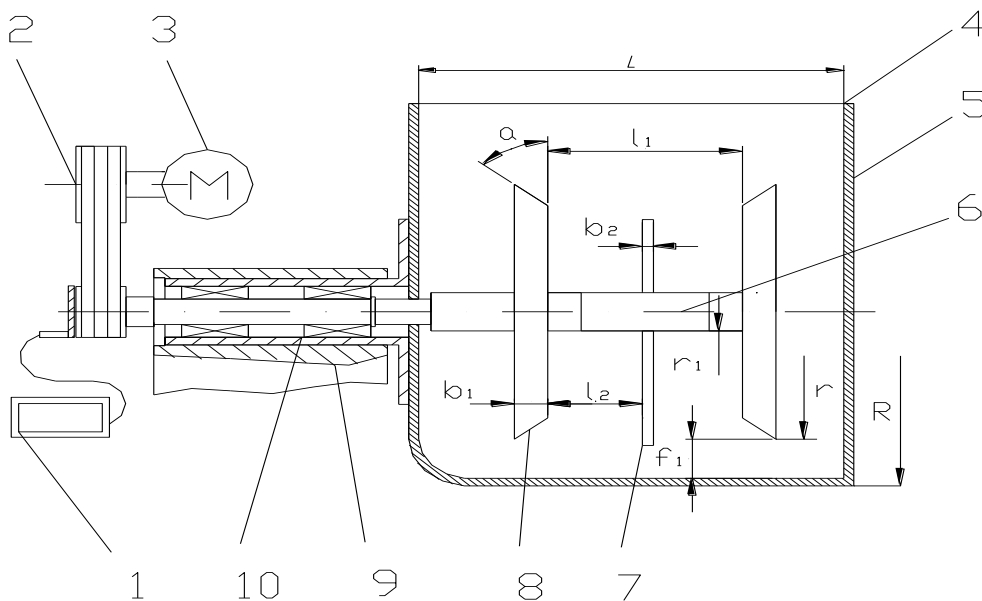


Рис. 2.3. Схема установки з тарільчастими робочими: 1-електронний тахометр; 2-привід; 3-електродвигун постійного струму; 4, 5-прозорі вставки для візуального спостереження; 6-направляючі втулки; 7-лопать; 8-ТРО; 9- робоча камера; 10-привідний вал.

Найбільш бажано створювати моделі процесів аналітично. Моделі, побудовані на основі загальних законів збереження, рівнянь процесів,

теоретичних, напівемпіричних або емпіричних співвідношень між різними параметрами, дозволяють аналізувати цілий спектр аналогічних задач і дають можливість пояснити суть і механізм процесу, що розглядається. Однак багато процесів харчової технології, і заміс тіста в тому числі, характеризуються великою кількістю змінних, мають складні умови однозначності, тому вирішити диференціальні рівняння, які їх описують, відомими у математиці методами неможливо.

Складність аналітичних моделей з одного боку і удосконалення обчислювальної техніки з іншого призвели до розвитку чисельних методів розрахунку процесів гідродинаміки в апаратах різної конструкції. На сьогодні завдяки розробці потужних обчислювальних комплексів з'явилася можливість досліджувати процеси перемішування неньютонівських рідин в апаратах складної геометричної конфігурації. В результаті отримують локальні гідродинамічні характеристики, зокрема, поле швидкостей, і аналізують їх вплив на якісні показники перемішування, яким, зокрема, є рівномірність розподілу компонентів суміші.

На сьогодні для виконання гідродинамічних розрахунків в різних галузях промисловості розроблені і розповсюджуються різні універсальні комп'ютерні CFD-пакети (ANSYS, Cosmos Flow Works, STAR-CD/STAR-CCM+, Fluent, Flow 3D, ShipFlow, CFX, FlowVision, OpenFOAM та інші). Всі ці програми відрізняються одна від одної методами розв'язання, мають різну обчислювальну точність, різне коло задач, що вирішуються, а також різну вартість.

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ НОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

3.1. Передумови та припущення узагальненого підходу опису змішування

Основною метою теоретичних досліджень полягає у розробці узагальненого підходу для опису перемішування компонентів в лабораторній установці. Існуюча теоретична база не в повній мірі описує фізику процесу змішування та супутні явища при утворенні тіста [9, 10].

Тістомісильна машина А2-ХТТ широко застосовуються в хлібопекарських промисловості, проте їх вітчизняні дослідження суттєво застаріли. Невпинний розвиток удосконалення сучасного технологічного обладнання вимагає створення нових високопродуктивних конструкцій. Підвищення ефективності змішування можливо досягти шляхом застосування раціональних конструктивно-технологічних параметрів машин, а саме форми і кута атаки змішувального органу.

Тістомісильна машина безперервної дії марки А2-ХТТ (рис. 3.1) призначена для замісу опари і тіста з борошна для виробів хліба хлібопекарської галузі. Структурна схема ТМ марки А2-ХТТ зображена на рис. 3.1. РО машини приводиться в дію через зубчасту циліндричну прямозубу передачу. На валу закріплені місильні елементи. Перші по ходу руху тіста три елементи, які виконані у вигляді гвинтових крильчаток (зона змішування), інші чотири - у вигляді плоских дисків (зона пластифікації). У торцевих стінках корпусу камери є комбіновані ущільнення, що включають еластичне набивання і скребок в місці сполучення вала і корпусу камери, що виконаний у вигляді нерухомої пластини. На корпусі камери установлений дозатор борошна у вигляді алюмінієвого корпусу з турнікетом, що обертається від валу.

Кількість борошна видадим турнікетом за один його оберт постійна величина. Вона залежить від вологості і якості борошна. Продуктивність

визначається числом обертів турнікета. Поворот храпового колеса регулюється сектором, що жорстко зв'язаний з ручею приводу дозатора [3,9].

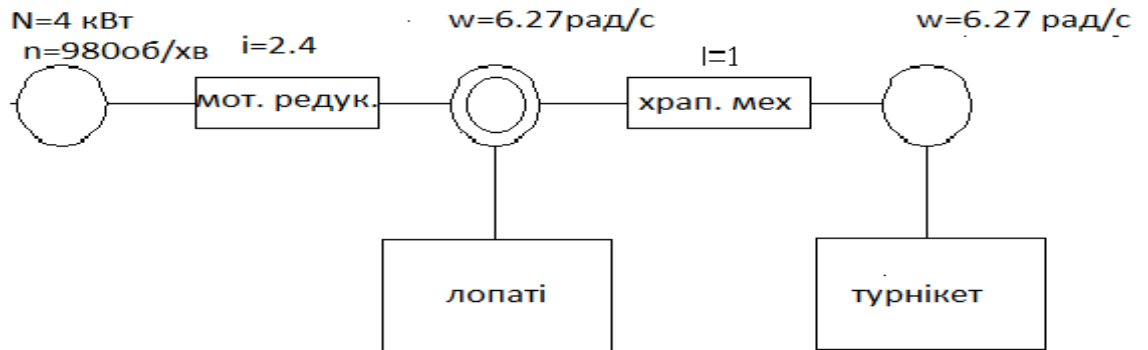


Рисунок 3.1. Структурна схема тістомісильної машини

3.2. Розрахунок питомої роботи при замішуванні

Потужність приводу змішувача витрачається на приведення в рух тарільчастого місильного органу. Для визначення потужності, яка необхідна електродвигуну для приведення в дію місильних органів, використовуємо формулу:

$$N = A * n / (\eta_1 * \eta_2)$$

де A - робота, яка витрачається на заміс, Дж/об

n - частота обертів місильного вала; с⁻¹;

η_1 і η_2 – коефіцієнти корисної дії механізмів змішувача, проміжних механізмів привода, при їх відсутності $\eta_2 = 1$. В нашому випадку $\eta_1 = 0.96$.

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

Де A_1 – робота, яка витрачається на перемішування маси без урахування витрат на нагрів маси за рахунок тертя;

A_2 – затрати на переміщення ТРО;

A_3 - нагрів тіста і металевих елементів машини, що з ним контактують;

A_4 – робота яка витрачається на зміну структури тіста.

$$A_4 = 0.1 * A_1$$

Вихідні дані беремо з додатку А і креслень

1. Робота на перемішування тіста:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= a_l * \epsilon_l * \Pi * \rho * n^2 * \sin \alpha (r_{2l}^2 - r_{1l}^2) * \left[(1 - K_l) * \Pi^2 * (r_{2l}^2 + r_{1l}^2) + \frac{K_l * S_l^2}{2} \right] + \\
 &+ a_d * \epsilon_d * \Pi * \rho * n^2 * \sin \alpha (r_{2d}^2 - r_{1d}^2) * \left[(1 - K_d) * \Pi^2 * (r_{2d}^2 + r_{1d}^2) + \frac{K_d * S_d^2}{2} \right] + \\
 &+ a_z * \epsilon_z * \Pi * \rho * n^2 * \sin \alpha (r_{2z}^2 - r_{1z}^2) * \left[(1 - K_z) * \Pi^2 * (r_{2z}^2 + r_{1z}^2) + \frac{K_z * S_z^2}{2} \right] = \\
 &6 * 0,04 * 3,14 * 950 \left(\frac{70}{60} \right)^2 \sin 30 (0,1425^2 - 0,048^2) \left[(1 - 0,05) 3,14^2 (0,1425^2 + 0,048^2) + \frac{0,05 * 0,3^2}{2} \right] + \\
 &3 * 1 * 3,14 * 950 \left(\frac{70}{60} \right)^2 \sin 90 (0,17^2 - 0,048^2) * \left[(1 - 0,005) * 3,14^2 * (0,17^2 + 0,048^2) + \frac{0,05 * 0^2}{2} \right] + \\
 &2 * 1 * 3,14 * 950 \left(\frac{70}{60} \right)^2 \sin 90 (0,2^2 - 0,075^2) * \left[(1 - 0,005) * 3,14^2 * (0,2^2 + 0,075^2) + \frac{0,005 * 0^2}{2} \right] = \\
 &= 225,99 \text{ Дж/об.}
 \end{aligned}$$

2. Переміщення місильних лопатей:

$$\begin{aligned}
 A_2 &= 0,75 * a_l * \epsilon_l * b_l * \rho_m * \Pi^2 * n^2 * (r_{2l}^3 - r_{1l}^3) + \\
 &+ 0,75 * a_d * \epsilon_d * b_d * \rho_m * \Pi^2 * n^2 * (r_{2d}^3 - r_{1d}^3) + \\
 &+ 0,75 * a_z * \epsilon_z * b_z * \rho_m * \Pi^2 * n^2 * (r_{2z}^3 - r_{1z}^3) = \\
 &= 0,75 * 6 * 0,04 * 0,005 * 7800 * 3,14^2 * \left(\frac{70}{60} \right)^2 * (0,1425^3 - 0,048^3) + \\
 &+ 0,75 * 3 * 1 * 0,002 * 7800 * 3,14^2 * \left(\frac{70}{60} \right)^2 * (0,17^3 - 0,048^3) + \\
 &+ 0,75 * 2 * 1 * 0,002 * 7800 * 3,14^2 * \left(\frac{70}{60} \right)^2 * (0,2^3 - 0,075^3) = 4,9 \text{ Дж/об.}
 \end{aligned}$$

3. Нагрівання тіста та металевих контактних елементів:

$$A_3 = 124 * a_n * \mu * n * \left(\frac{r_{2n}^4 - r_{1n}^4}{L} + \frac{2r_{2n}^3 * \epsilon_n * \sin \alpha}{F} \right) +$$

$$\begin{aligned}
& + 124 * a_{\delta} * \mu * n * \left(\frac{r_{2\delta}^4 - r_{1\delta}^4}{L} + \frac{2r_{2\delta}^3 * \epsilon_{\delta} * \sin \alpha}{F} \right) + \\
& + 124 * a_{\epsilon} * \mu * n * \left(\frac{r_{2\epsilon}^4 - r_{1\epsilon}^4}{L} + \frac{2r_{2\epsilon}^3 * \epsilon_{\epsilon} * \sin \alpha}{F} \right) = \\
& = 124 * 6 * 8 * \frac{70}{60} * \left(\frac{0,1425^4 - 0,048^4}{0,45} + \frac{2 * 0,1425^3 * 0,04 * \sin 30}{0,015} \right) + \\
& = 124 * 3 * 8 * \frac{70}{60} * \left(\frac{0,17^4 - 0,048^4}{0,45} + \frac{2 * 0,17^3 * 1 * \sin 90}{0,015} \right) + \\
& = 124 * 2 * 8 * \frac{70}{60} * \left(\frac{0,2^4 - 0,075^4}{0,45} \right) = 1413,897 \text{ Дж/об.}
\end{aligned}$$

4. Робота на зміну структури тіста:

$$A_4 = 0,1 * A_1 = 0,1 * 225,99 = 22,59 \text{ Дж/об.}$$

5. Загальна робота:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 225,99 + 4,9 + 1413,897 + 22,59 = 1667,39 \text{ Дж/об.}$$

6. Питома робота:

$$A_{num} = \frac{A * n * \tau}{m * 1000} = \frac{1667,39 * 70 * 60 * 180}{50 * 1000} = 7 \text{ Дж/г.}$$

Де $m=50$ кг – маса тіста в місильній камері

7. Потужність привідного електродвигуна:

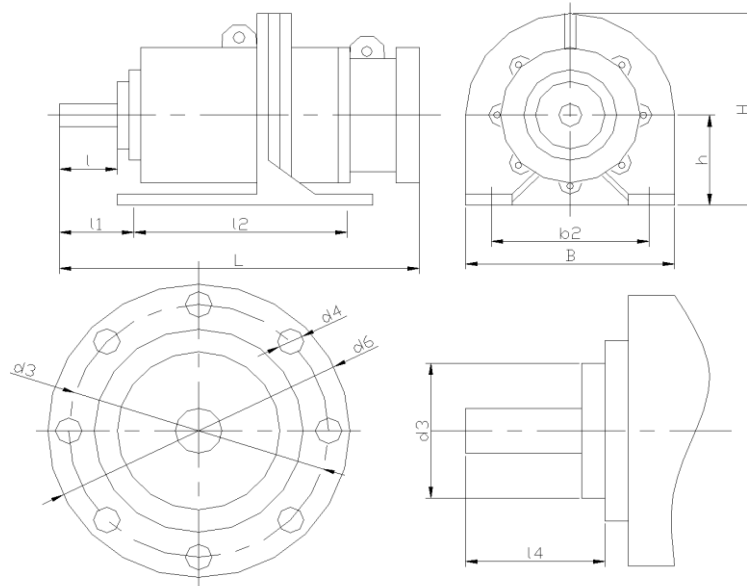
$$N = \frac{A * n}{1000 * \eta} = \frac{1667,39 * \frac{70}{60}}{1000 * 0,9} = 2,2 \text{ кВт}$$

8. Визначаємо необхідну потужність тістомісильної машини:

$$N_2 = \frac{2252 * 0,93}{0,96} = 2200 \text{ Вт} = 2,2 \text{ кВт}$$

Всі розрахунки зводимо в таблицю А.2

По каталогу вибираємо мотор – редуктор типо-розміру ЗМВз-40 типу АИР 90 L4 з потужністю $N = 2,2$ кВт і частотою обертання $n_{дв} = 68$ об/хв.



Мал. 3.2. Габаритні і приєднувальні розміри мотора-редуктора ЗМП-40

Параметри моторедуктор а	L_{ma}	B_{ma}	H_{ma}	L	L_1	L_4	B	b_2	d	D	d_3	D_4	d_5	D_6	$T_{ex},$ H	$F_{к},$ H
	x	x	x							2					M	
ЗМВз-40	630	270	275	80	11	9	10h	18	36k	19	130h	14	16	200	50	9000

3.3. Кінематичний розрахунок

Кінематичну схему вирізки тістомісильної машини А2-ХТТ складається з двигуна, мотор-редуктора та валу з лопатями. Визначаємо частоту обертання валу, позначивши для зручності:

$$n_I = n_{ДВ},$$

де n_e – частоти обертання валу відповідно;

n_d – частота обертання мотора – редуктора (з технічної характеристики).

$$n_e = 68 \text{ об/хв.}$$

Визначаємо потужність на двигунах:

$$n = \frac{N_{вух}}{\eta};$$

де: $N_{вух}$ - потужність, кВт;

η – коефіцієнт корисної дії.

$$N_1 = N_{дв} = 2,2 \text{ кВт};$$

$$N_2 = \frac{N_1}{\eta_M \times \eta_{нід}};$$

де: η_M – ККД муфти;

$\eta_{нід}$ – ККД підшипників.

З формули [4] вибираємо такі дані: $\eta_M = 0,99$;

$$\eta_{нід} = 0,97;$$

Витрату потужності на розвантажування борошна.

$$N_2 = \frac{2,2 - 0,2}{0,99 \cdot 0,97} = 1,35 \text{ кВт}$$

Визначаємо крутний момент на валу:

$$T = \frac{N \cdot 9550}{n} \text{ Нм}$$

$$T_1 = \frac{N_1}{n_1}$$

$$T_1 = \frac{N_1}{n_1} \times 9550 = \frac{2,2}{68} \times 9550 = 411,63 \text{ Нм}$$

Отримані дані зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.

№ Вала	Число обертів, n, об./хв.	Потужність, N, кВт	Крутний момент, T, Нм
I	68	2,2	411,63

3.4. Конструктивний розрахунок розробленої конструкції експериментальної установки

3.4.1. Розрахунок вала

Вал на якому є три тарілки. На місильні органи з боку тіста діє сила реакції. Цю силу можна розглядати як складову трьох сил: колової - P_k , осьової - P_o і радіальної - P_p .

Знайдемо значення крутного моменту по всій довжині вала.

$$T_A = 411,63 \text{ Нм (з попередніх розрахунків);}$$

$$T_{C,д,е,ф,к,л,м} = \frac{411,63}{6} = 68,61 \text{ Нм;}$$

$$T_B = 411,63 \text{ Нм;}$$

$$T_C = 411,63 - 22,87 = 388,76 \text{ Нм;}$$

$$T_D = 388,76 - 22,87 = 365,89 \text{ Нм;}$$

$$T_K = 365,89 - 22,87 = 343,03 \text{ Нм;}$$

$$T_\phi = 343,03 - 68,61 = 274,42 \text{ Нм;}$$

$$T_{ж} = 274,42 - 22,87 = 251,55 \text{ Нм;}$$

$$T_H = 251,55 - 68,61 = 182,95 \text{ Нм;}$$

$$T_I = 182,95 - 22,87 = 160,08 \text{ Нм;}$$

$$T_K = 160,08 - 68,61 = 91,48 \text{ Нм;}$$

$$T_L = 91,48 - 22,74 = 68,61 \text{ Нм;}$$

Визначаємо колові сили, які діють на вал.

$$P_C = P_B = P_D = \frac{T_C}{0,17} = \frac{22,87}{0,17} = 134,53 \text{ Н ;}$$

$$P_E = P_G = P_I = P_L = \frac{T_E}{0,15} = \frac{68,61}{0,15} = 457,4 \text{ Н;}$$

$$P_F = P_H = P_K = \frac{T_K}{0,07} = \frac{22,87}{0,07} = 326,71 \text{ Н;}$$

Знайдемо сили, що діють в площині x:

$$P_{Xc} = P_{Xd} = P_{Xe} = P_B \cdot \sin 9^\circ = 21,01 \text{ Н;}$$

Визначимо опорні реакції в площині x:

$$\sum M(A) = 0;$$

$$\begin{aligned} & P_{XB} \cdot b + P_{XC} \cdot (b+c) + P_{XD} \cdot (b+c+d) + P_{XE} \cdot (b+c+d+e) - P_{XF} \cdot (b+c+d+e+f) + \\ & + P_{XG} \cdot (b+c+d+e+f+g) - P_{XH} \cdot (b+c+d+e+f+g+h) + \\ & + P_{XI} \cdot (b+c+d+e+f+g+h+i) - \\ & - P_{XK} \cdot (b+c+d+e+f+g+h+i+j+k) + P_{XL} \cdot (b+c+d+e+f+g+h+i+j+k) + \\ & + R_{XM} (b+c+d+e+f+g+h+i+j+k+l) = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{-P_{XB} \cdot b - P_{XC} \cdot (b+c) - P_{XD} \cdot (b+c+d) - P_{XE} \cdot (b+c+d+e) + P_{XF} \cdot (b+c+d+e+f)}{(b+c+d+e+f+g+h+i+j+k+l)} - \\ & - \frac{P_{XG} \cdot (b+c+d+e+f+g) + P_{XH} \cdot (b+c+d+e+f+g+h) - P_{XI} \cdot (b+c+d+e+f+g+h+i)}{(b+c+d+e+f+g+h+i+j+k+l)} + \\ & + \frac{P_{XK} \cdot (b+c+d+e+f+g+h+i+j) - P_{XL} \cdot (b+c+d+e+f+g+h+i+j)}{(b+c+d+e+f+g+h+i+j+k+l)} = R_{XM}; \end{aligned}$$

$$R_{XM} = -618,12;$$

Підставивши значення отримаємо:

$R_{XM} = 618,12 \text{ H}$ - але направлена в протилежному напрямку

$$\sum M_X(M) = 0;$$

$$\begin{aligned} & -P_{XL} \cdot L + P_{XK} \cdot (l+k) - P_{XI} \cdot (j+k+l) + P_{XH} \cdot (i+j+k+l) - P_{XG} \cdot (h+i+j+k+l) + \\ & + P_{XF} \cdot (g+h+i+j+k+l) - P_{XE} \cdot (f+g+h+i+j+k+l) - \\ & - P_{XD} \cdot (e+f+g+h+i+j+k+l) - P_{XC} \cdot (d+e+f+g+h+i+j+k+l) - \\ & - P_{XB} \cdot (c+d+e+f+g+h+i+j+k+l) + R_{XA} \cdot (c+d+e+f+g+h+i+j+k+l) = 0; \end{aligned}$$

$$R_{XA} = \frac{\left(\begin{aligned} & P_{XL} \cdot L + P_{XK} \cdot (l+k) - P_{XI} \cdot (j+k+l) + P_{XH} \cdot (i+j+k+l) - P_{XG} \cdot (h+i+j+k+l) + \\ & + P_{XF} \cdot (g+h+i+j+k+l) - P_{XE} \cdot (f+g+h+i+j+k+l) - \\ & - P_{XD} \cdot (e+f+g+h+i+j+k+l) - P_{XC} \cdot (d+e+f+g+h+i+j+k+l) - \\ & - P_{XB} \cdot (c+d+e+f+g+h+i+j+k+l) \end{aligned} \right)}{(b+c+d+e+f+g+h+i+j+k+l)} = -634,94;$$

$R_{XA} = 634,94 \text{ H}$ – але направлена в протилежному напрямку

Перевірка:

$$\sum F_X = -R_{XA} + P_{XB} + P_{XC} + P_{XD} + P_{XE} - P_{XF} + P_{XG} - P_{XH} + P_{XI} - P_{XK} + P_{XL} - R_{XM} = 0;$$

Знайдемо згинальні моменти, які діють в точці X:

$$M_a = 0;$$

$$M_B = R_A \cdot b = -179,96 \cdot 0,153 = -27,53 \text{ Нм};$$

$$M_M = -R_A \cdot (b+c) + P_{XB} \cdot c = -179,96 \cdot 0,328 + 25,24 \cdot 0,175 = -54,61 \text{ Нм};$$

$$M_D = -R_A \cdot (b+c+d) + P_{XB} \cdot (c+d) + P_{XC} \cdot d = -179,96 \cdot 0,503 + 25,24 \cdot 0,340 + 25,24 \cdot 0,175 = -77,52 \text{ Нм}.$$

$$M_e = -R_p \cdot (b+c+d+e) + P_{XB} \cdot (c+d+e) + P_{XC} \cdot (d+e) + P_{XD} \cdot e = -179,96$$

$$\cdot 0,573 + 25,24 \cdot 0,420 + 25,24 \cdot 0,245 + 25,24 \cdot 0,070 = -84,56 \text{ Н. м.}$$

$$M_\phi = -R_A \cdot (b+c+d+e+\phi) + P_{XB} \cdot (c+d+e+\phi) + P_{XC} \cdot (d+e+\phi) + P_{XD} \cdot (e+\phi) - P_E \cdot f$$

$$= -179,96 \cdot 0,618 + 25,24 \cdot 0,47 + 25,24 \cdot 0,3 + 25,24 \cdot 0,12 - 392 \cdot 0,045 = -106,38 \text{ Н. м.}$$

$$M_G = -R_A \cdot (b+c+d+e+\phi+\psi) + P_{XB} \cdot (c+d+e+\phi+\psi) + P_{XC} \cdot (d+e+\phi+\psi) + P_{XD} \cdot (e+\phi+\psi) - P_E \cdot (f+\psi) + P_F \cdot g = -179,96 \cdot 0,668 + 25,24 \cdot 0,515 + 25,24 \cdot 0,34 + 25,24 \cdot 0,165 - 392 \cdot 0,095 + 548,87 \cdot 0,05 = -104,26 \text{ Н. м.}$$

$$M_H = R_A \cdot (b+c+d+e+\phi+\psi+h) + P_{XB} \cdot (c+d+e+\phi+\psi+h) + P_{XC} \cdot (d+e+\phi+\psi+h) + P_{XD} \cdot (e+\phi+\psi+h) - P_E \cdot (f+g+h) + P_F \cdot (g+h) - P_G \cdot h = -179,96 \cdot 0,703 + 25,24 \cdot 0,550 + 25,24 \cdot 0,375 + 25,24 \cdot 0,2 - 392 \cdot 0,130 + 548,87 \cdot 0,085 - 392 \cdot 0,035 = -116,13 \text{ Н.м.}$$

$$M_K = -R_A \cdot (b+c+d+e+\phi+\psi+h+i) + P_{XB} \cdot (c+d+e+\phi+\psi+h+i) + P_{XC} \cdot (d+e+\phi+\psi+h+i) + P_{XD} \cdot (e+\phi+\psi+h+i) - P_E \cdot (f+\psi+h+i) + P_F \cdot (\psi+h+i) - P_G \cdot (h+i) + P_H \cdot i = -179,96 \cdot 0,743 + 25,24 \cdot 0,59 + 25,24 \cdot 0,415 + 25,24 \cdot 0,24 - 392 \cdot 0,17 + 548,87 \cdot 0,125 - 392 \cdot 0,075 + 548,87 \cdot 0,04 = -110,02 \text{ Нм}$$

$$M_L = -R_A \cdot (b+c+d+e+\phi+\psi+h+i+j) + P_{XB} \cdot (c+d+e+\phi+\psi+h+i+j) + P_{XC} \cdot (d+e+\phi+\psi+h+i+j) + P_{XD} \cdot (e+\phi+\psi+h+i+j) - P_E \cdot (f+\psi+h+i+j) + P_F \cdot (\psi+h+i+j) - P_G \cdot (h+i+j) + P_H \cdot (i+j) - P_K \cdot j = -179,96 \cdot 0,791 + 25,24 \cdot 0,638 + 25,24 \cdot 0,463 + 25,24 \cdot 0,288 - 392 \cdot 0,218 + 548,87 \cdot 0,173 - 392 \cdot 0,123 + 548,87 \cdot 0,088 - 392 \cdot 0,048 = -116,51 \text{ Нм}$$

$$M_M = 0$$

Еквівалентні розрахункові моменти в перерізах валу визначаємо за третьою теорією міцності:

$$M_{еквi} = \sqrt{M^2 + T^2}, \text{ Нм},$$

Результати розрахунків по кожному перерізу заносимо в таблицю А.3

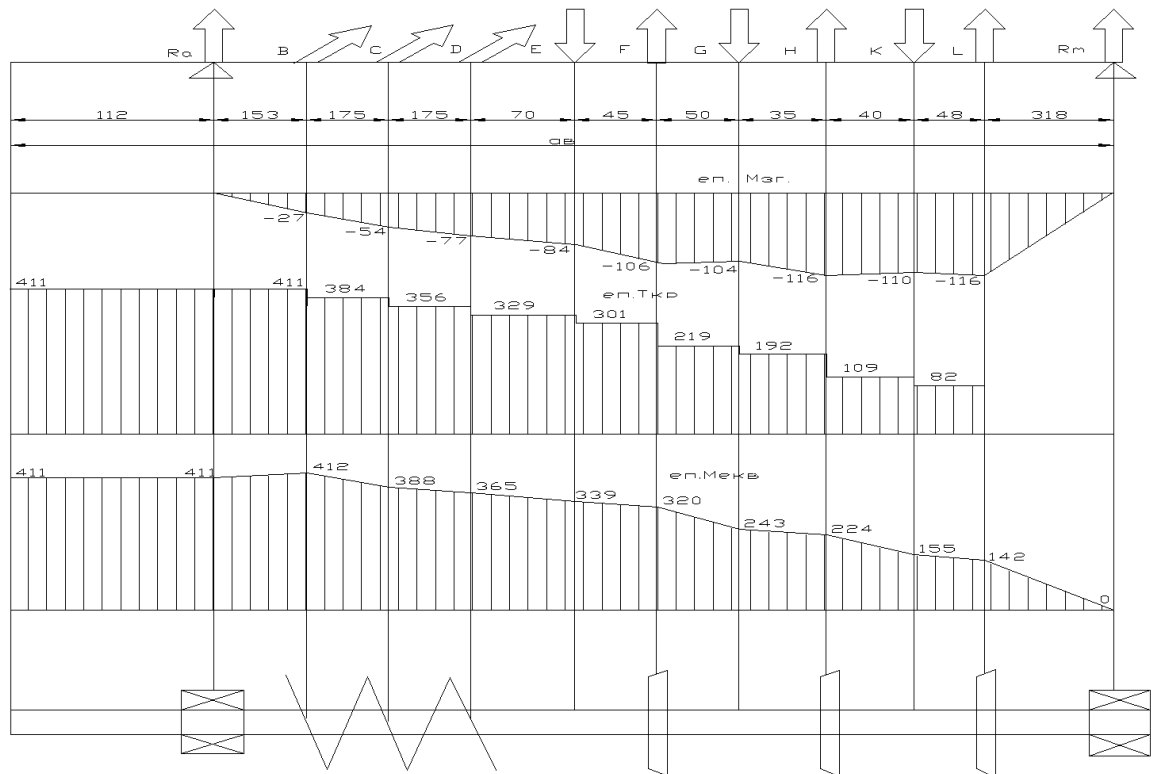


Рис.3.3. Епюри моментів на валу тістомісильної машини А2– ХТТ

Визначаємо допустиму напругу згину: $[\sigma - 1] = \frac{\sigma - 1}{[n] \cdot K_\sigma} = \frac{260}{1,6 \cdot 1,75} = 93 \text{ мПа}$

- $\sigma=260 \text{ мПа}$ – межа витривалості для вибраної сталі;
- $[n]=1,6$ - коефіцієнт запасу міцності ;
- $K=1,75$ – ефективний коефіцієнт концентрації напруги .

Визначаємо діаметр валу в небезпечному перерізі:

$$D = \frac{\sqrt[3]{M_{екв} \max}}{0,1 \cdot [\sigma]} = \frac{\sqrt[3]{412,55 \cdot 10^4}}{0,1 \cdot 30} = 48,5 \text{ мм}$$

Приймаємо $d=50 \text{ мм}$.

3.4.2. Підбір підшипників

Знаходимо максимальні радіальні та осьові навантаження на валу:

$$F_{\max}^r = P_B = 548,87 \text{ Н}$$

$$F_{\max}^0 = 3 \cdot P_B \cdot \cos \alpha^0 = 161,4 \cdot \cos 9^\circ = 159,41 \text{ Н}$$

Підбираємо роликопідшипники валу ТМ при діаметрі вала під підшипники $d=50\text{мм}$, частота обертання вала $n=56$ об/хв, коефіцієнт обертання кільця $V=1$, коефіцієнт безпеки $K_6=1,2$, температурний коефіцієнт $K_T=1,0$, потрібна довговічність $L_n=25\ 000$ год.

Приймаємо попередньо підшипник середньої серії 7310 у якого динамічна вантажопідйомність $C=96600\text{Н}$, кут контакту $J=12^\circ$ коефіцієнт $e=0,31$

Вибираємо коефіцієнти радіального і осьового навантаження для підшипника

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} = \frac{159,41}{1 \cdot 548,87} = 0,29 < e = 0,31;$$

$X=1; Y=0.$

Визначаємо еквівалентні навантаження

$$P_B = V \cdot F_r \cdot K \cdot K_T = 1 \cdot 548,87 \cdot 1,2 \cdot 1 = 685,64 \text{ Н.}$$

За довідковою літературою потрібне відношення

$c/r = 4,50$, звідки $c = 4,50 \cdot 685,64 = 2963,89$ Н, що нижче каталожної вантажопідйомності $c = 96600$ Н.

Отже підшипники прийнято вірно.

3.4.3. Розрахунок шпонки

За діаметром вала $d=50$ мм., згідно з стандартом вибираємо такі розміри з'єднання.

- ширина шпонки $b=16$ мм.;
- висота $h=10$ мм.;
- глибина паза на валу $t_1=6$ мм.;

- глибина паза у маточині півмуфти $t_2=4.3$ мм.

Для чавунної муфти, при посадці з гарантованим натягом беремо допустиме напруження зминання $[\sigma_{зм}]=110$ МПа

Обчислюємо потрібну робочу довжину шпонки

$$l_p = \frac{2T}{d(h-t_1) \cdot [\sigma_{зм}]} \approx \frac{4T}{dh[\sigma_{зм}]}$$

$$l_p = \frac{4 \cdot 411.63}{50 \cdot 10 \cdot 110} = 0.029 \text{ м}$$

Приймаю шпонку довжиною $l=60$ см.

3.4.4. Підбір муфти

Для з'єднання валу двигуна і робочого валу машини беремо пружну втулково-пальцеву муфту ГОСТ 21424-75 яка передає крутний момент $T=1000$ Нм.

Крутний момент на валу : $T=411,63$ Нм.

Розрахунковий момент який передає муфта:

$$T_p = K_p \cdot T$$

де K_p - коефіцієнт режиму праці муфти.

Працездатність муфти визначається міцністю пальців та гумових втулок. Перевірочний розрахунок гумових втулок виконуємо за умови обмеження тиску на поверхні їхнього контакту із пальцями, а самих пальців – за умовою міцності на згин.

Навантаження, яке припадає на один палець:

$$F_n = 2T_p / D_1 \cdot z = 2 \cdot 411,63 / 0,16 \cdot 10 = 514,53 \text{ Н}$$

де:

D_1 - діаметр розташування пальців, м;

z - кількість пальців.

Умова міцності втулок муфти:

$$P = F_n / d \cdot l_s = 514,53 / 0,036 \cdot 0,36 = 0,4 \text{ МПа} \leq [p] = (2 \dots 2,5) \text{ МПа}$$

Умова міцності на згин пальців:

$$\sigma = \frac{M}{W_0} = \frac{32 \cdot F_n \cdot (0,5 \cdot l_5 + B)}{(\pi \cdot d^3)} =$$
$$= \frac{32 \cdot 514,53 \cdot (0,5 \cdot 0,36 + 0,006)}{3,14 \cdot (0,036)^3} = 20,9 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 60 \text{ МПа}$$

3.4.5. Вибір ущільнень

В якості ущільнень приймаємо манжети гумові, армовані для ущільнень валів за ГОСТ 8752-79 з наступними розмірами:

D=50 мм, D=70 мм, h=10 мм.

Манжети огорожують пристрій місильної камери від підшипникового вузла і оточуючого середовища.

3.5. Дослідження конструктивних особливостей ТРО при замішуванні

З проведених наших досліджень випливає, що поверхня ТРО з контактом суміші в робочій камері та із її поверхнею інтенсифікує проходження процесу змішування. Це створює умови для зміни продуктивності та можливого впливу на весь процес.

В роботах Стренка досить чітко надано зв'язок конструктивних елементів машини з гідродинамікою середовища. Тому свої дослідження на першому етапі спрямовані на встановлення направленої течії рідинного середовища в робочій камері дослідної установки. Такий підхід дозволив встановити зв'язок величини дії ТРО з гідравлічним опором середовища. Обґрунтувати залежності опору від конструктивних параметрів дослідної установки. Ми в режимах течії розглядали два процеси: конвективний потік і пульсуючі рухи в часі і в просторі. Отримані результати досліджень дозволили в подальшому проводити процес змішування компонентів.

Розроблена конструкція вирізки (рис.3.4) тістомісильної машини А2-ХТТ складається із прозорої камери 1, тарільчасті робочі органи 2, електропривода. Весь робочий простір камери є із органічного скла і

елементів нержавіючої сталі. Це спрямовано для візуалізації за рухом компонентів (рис.3.5).



Рис.3.4. Фотографія експериментальної моделі змішувача: 1 – робоча камера; 2 – тарільчасті робочі органи; 3 – привідний вал; 4 – станина

3.5.1. Порівняльний аналіз сил, які діють на робочий орган

Перед проведенням досліджень на експериментальній установці, спочатку для встановленого місильного органу проводили дослідження динаміки руху рідини на різних швидкостях їх обертання. На рис. 3.5 зображено динаміку руху рідини в експериментальній установці.



Рис. 3.5. Динаміка руху рідини при обертанні тарільчастого робочого органу

Для спостереження і фіксації швидкості течії в місильній камері добавляли частинки. При швидкості обертання 250 об/хв тарільчастого місильного органу сфотографовано рух рідини експозиції $1/15 \text{ с}$. Видно із

рис.3.2, довжини траєкторій руху. Вони мають різну довжину відносно осі ТРО.

Проведено визначення трьох швидкостей руху рідини: перша – біля осі обертання місильного органу $\omega_1 = 0,025$ м/с, друга - на віддалі $\frac{1}{2}$ радіуса $\omega_2 = 0,0125$ м/с, третя – в кінці місильного органу, $\omega_3 = 0,009$ м/с. Гравітаційні зусилля, які співпадають з рухом лопаті, сприяють утворенню високих швидкостей, а в лівій та нижній частині місильної камери – швидкість менша, по причині дії гравітаційної сили у протилежному напрямі. Отже, швидкість змінюється в меншу сторону із збільшенням віддалі від осі обертання та дії гравітаційних зусиль. Різниця швидкостей траєкторії руху свідчить про те, що проходить відставання, тобто заторможення руху, і робить траєкторію складною, яка сприяє процесу замішування.

Із рис. 3.4 та 3.5 видно, що рідина рухається з різною швидкістю між двома шарами. В точка А для ТРО є найменший опір розподілу швидкості. Ближче до осі валу явище повторюється та розподіл стає несиметричним (точка Б). Із збільшенням радіуса ТРО проходить утворення вихрової течії (точка В), що створює зону турбулентного руху рідини (точка В).

Моделювання руху частинок подано на рис. 3.6.

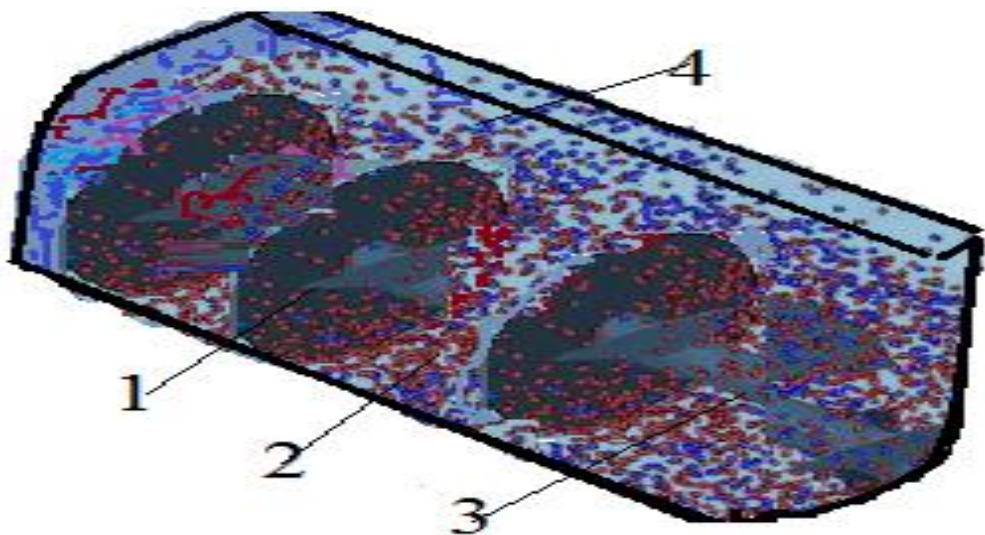


Рис. 3.6. Розподіл частинок в робочій камері при дії ТРО:1-робочий орган;2-рух частинок;3-вал;4-еамера змішування

При збільшенні швидкості руху потік може бути хвилястим на поверхні. По радіусу до осі валу ТРО наявні впадини з гребнями шарів, що взаємодіють (які входять після місильних органів), що приводить до збільшення тиску (знак +) і зниження (знак -). Це веде до подальшого збільшення хвилястості. Схематичне зображення цього руху зображено на рис.3.7.

Величина маси, яка враховується при русі, а також величина потужності, яка необхідна для роботи місильного органу, залежить від стану середовища, що перемішується.

Для місильних органів велику роль відіграє лобовий опір. Тому, для уточнення кращої роботи, яка витрачається на перемішування рідини при лобовому опорі, ми проводимо обчислення за формулою:

$$P = K \cdot F_n (1 \pm \varphi)^2 v^2,$$

де K - коефіцієнт лобового опору середовища; F_n - площа проекції органу на площину нормальну до траєкторії руху, m^2 ; φ - швидкість руху рідини, m/c ; v - швидкість руху місильного органу, m/c .

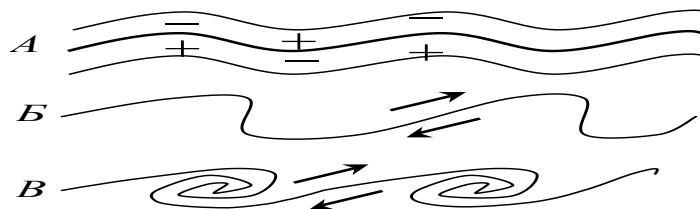


Рис. 3.7. Схема поверхні розподілу між шарами рідини, що рухається із різними швидкостями робочих органів

Аналіз проведених розрахунків, а також рисунків дозволяє відмітити максимальне значення коефіцієнта лобового опору, нормальний тиск, який виникає в місцях дотику місильного органу з перемішуваною або витисненою масою.

3.6. Визначення конструктивних параметрів місильного органу розробленої конструкції

Нами запропоновано нову конструкцію робочих органів. Тому важливе значення має визначити вплив геометричних параметрів робочих органів на реологічні та гідродинамічні параметри в процесі замішування хлібного тіста. Запропонована нова конструкція тарільчастого місильного органу (рис. 2.1), що являють собою форму тарілки, при цьому дно тарілки має діаметр в 3...6 рази менший, ніж загальний діаметр.

Відомо, що на питому роботу замісу суттєво впливає в'язкість тіста, підвищення якої значно збільшує енергозатрати. Відомо, що конструктивні параметри робочого органу і частота його обертання суттєво впливають на в'язкість. Тому для визначення конструктивних параметрів l_1 , l_2 та раціональної швидкості обертання місильного валу n , необхідно отримати інтерполяційну модель (рівняння регресії), що встановлює вплив вказаних факторів на в'язкість хлібного тіста. В якості незалежних змінних для отримання цього рівняння регресії обрано частота обертання робочого органу та його конструктивні параметри:

X_1 – відстань між робочими органами (l_1), м;

X_2 – відстань між робочими органами і робочою камерою (l_2), м;

X_3 – частота обертання місильного органу (n), об/хв.

Для цих змінних встановлено межі варіювання (табл. 3.5), використавши дані, отримані та аналізі конструкцій місильних органів промислового зразка.

Таблиця 3.5

Межі варіювання факторів

Найменування	Фактори		
	X_1 , м	X_2 , м	X_3 , об/хв
Нульовий рівень	0.022	0.022	350
Інтервал варіювання	0.006	0.006	250

Інтерполяційну модель визначаємо у вигляді:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{j,i=1}^n b_{ij} x_j x_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2,$$

де n – кількість факторів; b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} – коефіцієнти рівняння регресії, x_i , x_{ij} – кодовані значення факторів. Для визначення коефіцієнтів рівняння регресії проводимо експеримент, спланований згідно плану другого порядку типу ЦКОП (центрального композиційного ортогонального плану), схема якого приведена в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

План експерименту по визначенню залежності в'язкості тіста від конструктивних параметрів робочого органу і частоти його обертання

№	X_1	l_1 , м	X_2	l_2 , м	X_3	n , об/хв
1	-1	0.016	-1	0.016	-1	100
2	1	0.028	-1	0.016	-1	100
3	-1	0.016	1	0.028	-1	100
4	1	0.028	1	0.028	-1	100
5	-1	0.016	-1	0.016	1	600
6	1	0.028	-1	0.016	1	600
7	-1	0.016	1	0.028	1	600
8	1	0.028	1	0.028	1	600
9	-a	0.015	0	0.022	0	350
10	a	0.029	0	0.022	0	350
11	0	0.022	-a	0.029	0	350
12	0	0.022	a	0.029	0	350
13	0	0.022	0	0.022	-a	46
14	0	0.022	0	0.022	a	653
15	0	0.022	0	0.022	0	350

Позначення в таблиці:

l_1 , X_1 – натуральні, м, і кодовані значення лінійного розміру;

l_2 , X_2 – натуральні, м, і кодовані значення лінійного розміру;

n , X_3 – натуральні, об/хв, і кодовані значення швидкості обертання місильного органу;

a – зіркове плече, для трьохфакторного експерименту $a = 1.215$.

Вибір даного плану зумовлений його простотою, а саме: завдяки оптимальній матриці планування, кількість дослідів в ньому невелика (15),

що дозволяє швидко і якісно провести експеримент, при цьому отримуємо високу точність кінцевих результатів.

Результати досліджень заносимо в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Результати досліджень по визначенню в'язкості тіста

№	η_1 , Па·с	η_2 , Па·с	η_3 , Па·с	$\eta_{\text{ср}}$, Па·с
1	84	85	87	85.3
2	90	91	92	91
3	100	101	102	101
4	110	111	112	111
5	85	85	86	85.3
6	82	84	85	83.6
7	77	79	80	78.6
8	76	78	79	77.6
9	83	84	85	84
10	86	86	87	86.3
11	90	92	93	91.6
12	69	70	71	70
13	68	68	69	68.3
14	65	66	67	66
15	66	67	68	67

3.6.1. Математично-статистична обробка результатів експерименту

Коефіцієнти рівняння регресії визначаємо за формулами

$$b_0 = \sum_{u=1}^n \frac{y_u}{N}, \quad b_i = \frac{\sum x_{iu} y_u}{\sum x_{iu}^2}, \quad b_{ij} = \frac{\sum x_{iu} x_{ju} y_u}{\sum (x_{iu} x_{ju})^2}, \quad b_{ii} = \frac{\sum \dot{x}_{iu} y_u}{\sum (\dot{x}_{iu})^2}.$$

Отримані значення коефіцієнтів регресії:

$$b_0=66.7, \quad b_1=1.44, \quad b_2=-0.3, \quad b_3=-6.01, \quad b_{12}=0.62, \quad b_{13}= -2.29, \quad b_{23}= b_{11}= 12.52, \quad b_{22}= 9.61, \quad b_{33}=0.33.$$

Значимість коефіцієнтів перевіряли за умовою

$$t_i > t_T \quad (t_T = 2.0423 \text{ при } q=0.05, \quad f=(m-1)N = 30),$$

де t_T – табличний критерій Стюдента [12], t_i – розрахунковий критерій Стюдента, q – рівень значимості, f – кількість ступенів вільності.

Помилка дослідів:

$$S_0^2 = \frac{1}{N_0 - 1} \sum_{k=1}^{N_0} (y_{0k} - \bar{y}_0)^2,$$

де N_0 – кількість паралельних дослідів.

Дисперсії коефіцієнтів регресії :

$$S_{b_0}^2 = \frac{S_0^2}{N}, \quad S_{b_i}^2 = \frac{S_0^2}{\sum x_{iu}^2}, \quad S_{b_{ij}}^2 = \frac{S_0^2}{\sum (x_{iu}x_{ju})^2}, \quad S_{b_{ii}}^2 = \frac{S_0^2}{\sum (x_{iu})^2}.$$

Розрахункові значення критеріїв Стюдента:

$$t_{b_p} = \frac{|b_0|}{S_{b_0}}, \quad t_{b_{ip}} = \frac{|b_i|}{S_{b_i}}, \quad t_{b_{ijp}} = \frac{|b_{ij}|}{S_{b_{ij}}}, \quad t_{b_{iip}} = \frac{|b_{ii}|}{S_{b_{ii}}}.$$

В результаті отримано значення критеріїв Стюдента:

$t_1=2.95$, $t_2=0.62$, $t_3=12.28$, $t_{12}=1.09$, $t_{13}=4.0$, $t_{23}=10.55$, $t_{11}=16.14$, $t_{22}= 12.36$,
 $t_{33}=0.43$, згідно яких значимими залишилися коефіцієнти: $b_0=66.7$, $b_1=1.44$,
 $b_3=-6.01$, $b_{23}=-6.04$, $b_{11}= 12.52$, $b_{22}= 9.61$.

Всього $l=5$ значимих членів.

Рівняння регресії в кодованих координатах:

$$y = 66.7 + 1.44x_1 - 6.01x_3 - 6.04x_2x_3 + 12.52x_1^2 + 9.61x_2^2.$$

Формула переводу значень коефіцієнтів в натуральні координати:

$$Xi = xi \cdot \Delta X_i + X_{i0},$$

де – X_i значення факторів для рівняння в натуральних координатах; i X

– значення факторів для рівняння в кодованих координатах;

– ΔX_i - інтервал варіювання для кожного з факторів;

– X_{i0} нульовий рівень кожного з факторів.

Враховуючи, що в натуральних координатах

$$y = \eta \text{ (Па·с)}, \quad X_1 = l_1 \text{ (м)}, \quad X_2 = l_2 \text{ (м)}, \quad X_3 = n \text{ (об/хв)},$$

отримуємо інтерполяційну модель:

$$\eta = 204.82 + 0.24l_1 - 0.42n - 0.002l_2n + 19.4l_{12} + 0.6l_{22}.$$

Дисперсія адекватності моделі:

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{N-l} \sum_{u=1}^N (y_u - \tilde{y}_u)^2 = 476,$$

де l – кількість значимих членів рівняння; – дисперсія адекватності; N – кількість дослідів. ад S

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_0^2} \leq F_r = 4.1,$$

де F_r – табличне значення критерію Фішера; прийнято при умовах:

$$q=0.05, f_{ад}=N-l=15-5=10, f_0=3-1=2.$$

Отже, отримана модель адекватно описує процес.

В табл. 3.8 показано результати обчислень значимості коефіцієнтів, похибки експерименту і перевірки на адекватність отриманого рівняння.

Для знаходження точок екстремуму функції перевіряється необхідна і достатня умови існування екстремуму. З цією метою беруться часткові похідні:

$$\partial y / \partial x_1 = 1.44 + 25.04x_1 - 6.01x_3 - 6.04x_2x_3 + 9.61x_2^2;$$

$$\partial y / \partial x_2 = 1.44x_1 + 19.22x_2 - 12.05x_3 + 12.52x_1^2;$$

$$\partial y / \partial x_3 = -6.01 + 1.44x_1 - 6.04x_2 + 12.52x_1^2 + 9.61x_2^2.$$

Прирівнявши останні до нуля та вирішивши систему рівнянь, отримаємо значення в кодованому вигляді: $x_1 = -0.25$; $x_2 = -0.51$ та $x_3 = -0.28$.

Для визначення максимуму чи мінімуму функції розраховуємо часткові похідні другого порядку:

$$\partial^2 y / \partial x_1^2 = 25.04 - 6.01x_3 - 6.04x_2x_3 + 9.61x_2^2;$$

$$\partial^2 y / \partial x_2^2 = 19.22 + 1.44x_1 - 12.05x_3 + 12.52x_1^2;$$

$$\partial^2 y / \partial x_3^2 = 1.44x_1 - 6.04x_2 + 12.52x_1^2 + 9.61x_2^2.$$

Підставивши отримані значення змінних, отримаємо:

$$\partial^2 y / \partial x_1^2 = 28.36; \partial^2 y / \partial x_2^2 = 23; \partial^2 y / \partial x_3^2 = 6,$$

всі значення більші нуля, отже отримана залежність є функцією мінімуму.

Таблиця 3.8

Перевірка на адекватність рівняння регресії

№	y_{cp}	$\Sigma(y_{cp}-y_i)^2$	y_p	$\Sigma(y_{cp}-y_i)^2$
1	85.3	4.6	88.82	12.2
2	91	2	88.82	4.75
3	101	2	100.9	8.04
4	111	2	100.9	11.8
5	85.3	0.66	88.8	12.6
6	83.6	4.6	88.8	24.3
7	78.6	4.6	76.8	0.74
8	77.6	4.6	76.8	0.74
9	84	2	85.23	1.52
10	86.3	0.66	85.23	1.2
11	91.6	4.66	80.9	15.8
12	70	2	80.9	18.8
13	68.3	0.66	74.05	12.74
14	66	2	59.44	22.92
15	67	2	66.75	3.16
		$S_0=39.04$		
			$S_{ад}=151$	

В натуральному вигляді значення набувають вигляд: $l_1=0.02$ м; $l_2=0.019$ м та $n=280$ об/хв.

Подальшим кроком є визначення діаметрів тарілки D і допоміжного d місильного валу, враховуючи конструктивні параметри, отримані раніше. Для знаходження рівняння регресії, яке описує залежність в'язкості тіста від вказаних факторів, побудуємо матрицю планування для повного факторного експерименту з урахуванням нелінійності та міжфакторних взаємодій (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

План експерименту та результати досліджень по визначенню залежності в'язкості тіста від діаметрів основного і допоміжних місильних параметрів

№	X ₁	X ₂	X ₁ ·X ₂	D	d	η _{ср}
1	-1	-1	+1	0.008	0.004	102
2	+1	-1	-1	0.024	0.004	73
3	-1	+1	-1	0.008	0.012	80.3
4	+1	+1	+1	0.024	0.012	87
5	0	0	0	0.016	0.008	92
6	+1	0	0	0.024	0.008	78
7	-1	0	0	0.008	0.008	85
8	0	+1	0	0.016	0.012	91
9	0	-1	0	0.016	0.004	80

Позначення в таблиці:

D, X₁ – натуральні, м, і кодовані значення діаметру тарілки;

d, X₂ – натуральні, м, і кодовані значення діаметру валу.

Рівняння регресії для двох факторів, що враховує ефекти парних міжфакторних взаємодій, матиме вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2.$$

Коефіцієнти регресії рівняння визначаємо за формулами

$$b_0 = \sum_{u=1}^n \frac{y_u}{N}, \quad b_i = \frac{\sum x_{iu}y_u}{\sum x_{iu}^2}, \quad b_{ij} = \frac{\sum x_{iu}x_{ju}y_u}{\sum (x_{iu}x_{ju})^2}, \quad b_{ii} = \frac{\sum \dot{x}_{iu}y_u}{\sum (\dot{x}_{iu})^2}.$$

де x_{iu} – значення змінної у відповідному стовпчику плану експерименту (x_{iu} = ±1); y_u – результат u-го дослід; N – загальне число дослідів; u – номер варіанта дослід; i – номер фактора; j – номер фактора, що відрізняється від i.

Отримані значення коефіцієнтів регресії:

$$b_0=87.5, \quad b_1=-5, \quad b_2= 2.66, \quad b_{11}= -3.7, \quad b_{12}= 8.75, \quad b_{22}= 1.$$

Значимість коефіцієнтів перевіряли за умовою

$$b_i > t \sqrt{S_{(b_i)}^2} \quad \text{або} \quad b_i > 1.97$$

$$(t = 2.1009 \text{ при } q=0.05, f=(m-1) \cdot N=(3-1) \cdot 9=18),$$

де t – табличний критерій Стюдента [12], q – рівень значимості, f – кількість ступенів вільності.

Для визначення S_{bi}^2 треба розрахувати $\bar{y}_u = \frac{\sum_{k=1}^m y_{ku}}{m}$ і визначити:

1. Відрядкові дисперсії відтворюваності одиничного результату

$$S_{y_{ku}}^2 = \frac{\sum_{k=1}^m (y_{ku} - \bar{y}_u)^2}{m - 1},$$

де k – номер повторності у кожному рядку; u – номер рядка в плані експерименту.

2. Середню (середньоарифметичну) для всього експерименту дисперсію відтворюваності одиничного результату

$$S_{y_k}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N S_{y_{ku}}^2}{N} = 8.91$$

3. Середню для всього експерименту дисперсію відтворюваності середнього значення виходу процесу

$$S_y^2 = \frac{S_{y_k}^2}{m} = 2.97$$

Дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{N} = 0.33$$

Рівняння регресії в кодованих координатах:

$$y = 87.5 - 5x_1 + 2.66x_2 + 8.75x_1x_2 - 3.7x_1^2.$$

Враховуючи, що в натуральних координатах $y = \eta$ (Па·с), $X_1 = D$ (м), $X_2 = d$ (м), та використовуючи формулу (3.3), отримуємо інтерполяційну модель:
 $\eta = 116.4 - 0.96D + 4.21d + 0.27Dd - 0.057D^2$.

Отримане в результаті факторного експерименту рівняння регресії пов'язує рівні факторів із виходом процесу на ділянці поверхні відгуку, що вивчається. Воно дозволяє визначити без додаткової постановки експериментів величини виходу процесу всередині досліджуваної ділянки поверхні відгуку шляхом інтерполяції.

Попередньо треба пересвідчитися, що отримане рівняння регресії з достатньою ступінню достовірності (адекватно) описує процес, який

вивчається, тобто що ступінь відтворюваності процесу співрозмірна зі ступінню адекватності рівняння процесу. Така перевірка здійснюється по F-критерію, або критерію Фішера, для чого проводяться такі розрахунки:

- розраховують вихід \hat{y}_i для кожного варіанту дослідження по рівнянню регресії, з якого виключені незначущі члени;
- розраховують дисперсію адекватності:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{N - N'} = 18.5,$$

де N' – кількість значущих коефіцієнтів у рівнянні регресії.

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_{y_{ки}}^2} \leq F_T = 5.79,$$

де F_T – табличне значення критерію Фішера;

прийнято при умовах:

$$q=0.05, f_{ад}=N-1=9-4=5, f_0=3-1=2.$$

Отже, отримана модель адекватно описує процес.

Після перевірки необхідної і достатньої умов існування екстремуму, за методикою, аналогічній наведеній вище, отримали раціональні значення діаметру місильної тарілки експериментальної установки: $D=0.014$ м; $d=0.005$ м. З використанням теорії ПФЕ отримані адекватні рівняння регресій залежності в'язкості від конструктивних параметрів робочого органу і частоти його обертів.

Висновки розділу.

Таким чином, встановлено, що для отримання найменших значень в'язкості в процесі замісу тіста відстань між робочим органом повинна становити $l_1=0.02$ м, $l_2=0.019$ м, а їх діаметри - $D=0.014$ м; $d=0.005$ м.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАМІШУВАННЯ ТІСТА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ УСТАНОВЦІ

4.1. Визначення крутного моменту на тарільчастому робочому органі

Найбільш обґрунтованим підходом до моделювання замішування тіста є базовий підхід на законах збереження маси, руху та енергії [10]. Моделювання процесу змішання виконано при використанні досліджуваної установки. Дослідження проводилися встановлення розподілу температури в тісті з урахуванням енергії дисипації та різних характеристиках замішаного тіста.

Розглянемо обертання ТРО відносно своєї осі у суміші. Обертання буде рівне крутному моменту та моменту опору робочої камери:

$$M_{кр} - M_{корп} = 0. \quad (4.1)$$

Момент крутний на тарільчастому РО відбувається в результаті його швидкості та тіста. Відповідно визначається зусиллями дії тіста на нього (рис.4.1). Тому при обертанні РО до його елементарної дільниці діють сили:

$$dP = \zeta_l \frac{\rho u^2(r)}{2} h_l dr. \quad (4.2)$$

Відповідно крутний момент:

$$dM_{кр} = \zeta_l \frac{\rho u^2(r)}{2} h_l r dr. \quad (4.3)$$

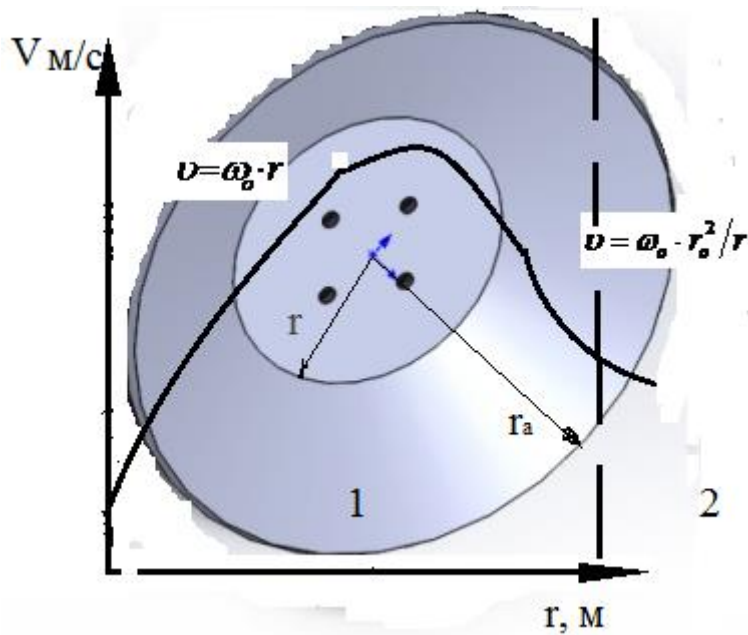


Рисунок 4.1. – Модель дії вихрів на ТРО: I – зона вихровів; II – потенційна течія

Визначимо обтікаючу швидкість через різницю швидкостей ТРО й опору по радіусу r :

$$u(r) = \omega_0 r - v(r). \quad (4.4)$$

Введемо значення:

$$\bar{r} = \frac{r}{r_0}; \quad \bar{v}(r) = \frac{v(r)}{\omega_0 r_0}.$$

В такому значенні крутний момент виражається:

$$M_{кр} = Z_m \frac{\zeta_m \cdot \rho \cdot \omega_0 r_0^4}{2} \int_{\bar{r}_{ен}}^1 [\bar{r} - \bar{v}(\bar{r})]^2 \bar{r} d\bar{r}, \quad (4.5)$$

$$\bar{r}_{ен} = \frac{r_{ен}}{r_0}.$$

Момент гідравлічного опору циліндричної камери

$$M_{cm} = \pi C_f \rho H R^2 v_{cp}^2, \quad (4.6)$$

$$v_{cp} = \frac{1}{R} \int_0^R v(r) dr.$$

В параметрах від 0 до R момент опору $M_{дн}$

$$M_{дн} = \frac{\pi}{4} \rho C_f R^3 v_{cp}^2. \quad (4.7)$$

Загальний момент камери:

$$M_{\text{корн}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{дн}} = \frac{\pi}{4} \gamma C_f \rho \omega_0^2 r_0^5 \bar{R} v_{\text{cp}}^2, \quad (4.8)$$

$$\bar{v}_{\text{cp}} = \frac{C_{\text{cp}}}{(\omega_0 r_0)} : \bar{R} = \frac{R}{r_0},$$

$$\gamma = \frac{4H}{R+1}.$$

Коефіцієнт C_f турбулентного режиму :

$$C_f = \lambda_t R_e^{0,25}.$$

Коефіцієнт λ_t не залежить параметрів РО. Він дорівнює 0,095 [3].

Розподіл швидкостей в зоні II (рис. 4.1.т.А.В і рис.3.3) виражається:

$$U = \omega_0 r_0 - v(r_0).$$

Отже, крутний момент в нашому розгляді можливо визначити:

$$M_{\text{кр}} = Z_m \zeta_l h_l Z_l b r_0 \frac{\rho u^2}{2}. \quad (3.9)$$

Такий підхід дозволив оцінити дану методику та проаналізувати результати досліджень. Проведені розрахунки зведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Зведені розрахунки досліджень колової швидкості середовища

Зведений параметр	дослідження		Теоретичні дані	
	коло	кут атаки 30 ⁰ ТРО		
Момент $M_{\text{кр}}$ кН·м	0,372	0,219	0,39	0,206
Середня швидкість потоку v_{cp} м/хв.	45,4	45,6	43,3	49,6
Опорі $M_{\text{дн}}$	0,118	0,106	0,126	0,119
Опору об стінки $M_{\text{ст}}$	0,123	0,121	0,129	0,126
Момент камери $M_{\text{корн}}$	0,241	0,227	0,255	0,245

За результатами досліджень побудовано графіки для аналізу (рис. 4.2). Порівняльний аналіз теоретичних розрахунків з результатами досліджень дозволив встановити результат середньої швидкості руху рідини. Найкращі результати досліджень є у ТРО при куті атаки 30° .

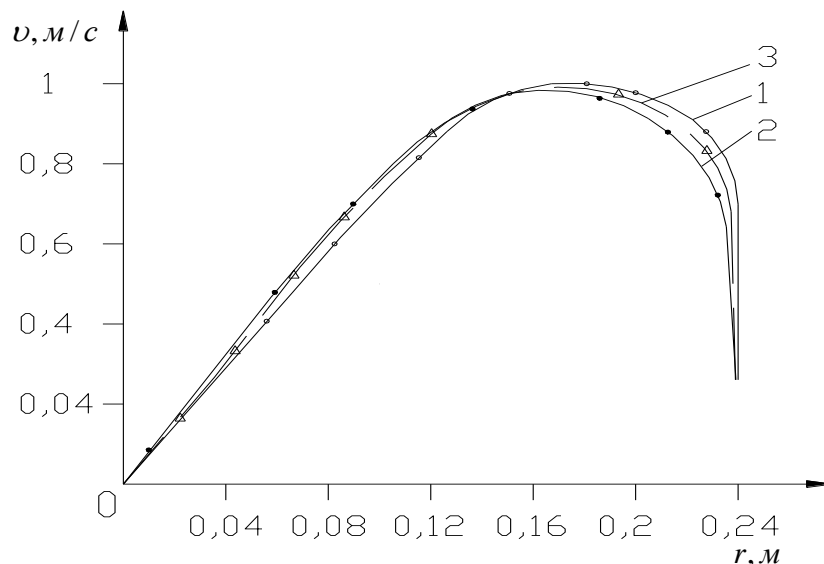


Рисунок 4.1 Профіль колової швидкості в робочій камері із ТРО: 1 – кут атаки 30° ; 2 – кут атаки 39° ; 3 експериментальні дані

4.2. Дослідження процесу замішування тіста при різних режимах

Останні досягнення в розвитку техніки і технології, хлібопечення характеризуються розробкою нових способів і установок для безперервного поточного і прискореного приготування тіста, від моменту закінчення замішування до початку його поділу. Для рішення цієї задачі актуальним було дослідження можливостей і раціональних умов прискорення процесу дозрівання тіста і покращання якості хліба шляхом інтенсифікації замішування.

При розгляді процесів, які проходять під час замішування тіста встановлено, що мета замісу не обмежується тільки одержанням однорідної на всій масі суміші інгредієнтів з яких воно готується, але не менш важливо привести тісто в стан, при якому його властивості забезпечують оптимальне

протікання наступних стадій технологічного процесу, що дозволить одержати хліб високої якості [7,19].

При дослідженні якості тіста його властивості визначали за інтенсивністю кислотного накопичення та газоутворення, а також його підйомної сили та газоутримуючої здатності [8,9].

Проблемою удосконалення замішування стосується при розробці конструктивних параметрів РО, у яких дія на компоненти не викликала б нагріву, залишається і в даний час. Удосконалення конструкцій машин повинно базуватися на особливостях процесу при додержанні раціональних параметрів в робочих камерах. При замішуванні повинно бути гарантовано рівномірне перемішування всіх компонентів, одержання тіста із відповідними властивостями і створення оптимальних умов для проходження подальших технологічних процесів: бродіння, поділу та вистоювання [6,7,9].

Тісто готували безопарним методом. Тому, в експериментальну установку одночасно із борошном додавали всі складові компоненти, передбачені рецептурою (табл. 4.1).

Досліди на змінних місильних органах і відпрацювання процесу замішування тіста проводили шляхом зміни частоти обертання робочих органів – від 100 до 270 об/хв, тривалість замісу змінювали відповідно від 90 до 180 с. В дослідях фіксувалися показники активної кислотності pH , ефективної в'язкості η , вологості тіста.

Таблиця 4.1

Рецептура тіста

Борошно, г	Вологість, %	Вода, мл	Сіль, г	Пресовані дріжджі, г	Температура, °C		
					Вода	Борошно	Повітря в приміщенні
600	13	336	9	15	38	24	25

Після замішування тіста у місильній місткості заміряли температуру в трьох точках: зверху t_1 , всередині t_2 , внизу t_3 .

Вибраний РО здійснює перевірку доцільності цього вибору шляхом експериментальних досліджень. При змішуванні дозуючі компоненти не проводили накопичення на дні установки. Вони активно взаємодіяли при утворенні маси суміші (рис.4.3). Окрім перемішування присутній ударно-відбивальні фактори впливу на компоненти. Внаслідок таких дій проходить утворення агломератів з удосконаленим ефективним змішуванням. Це створює умови для переходу компонентів від одного стану до розрихленого і до ущільненого. Присутній вплив змішування дозволяє скоротити час процесу.

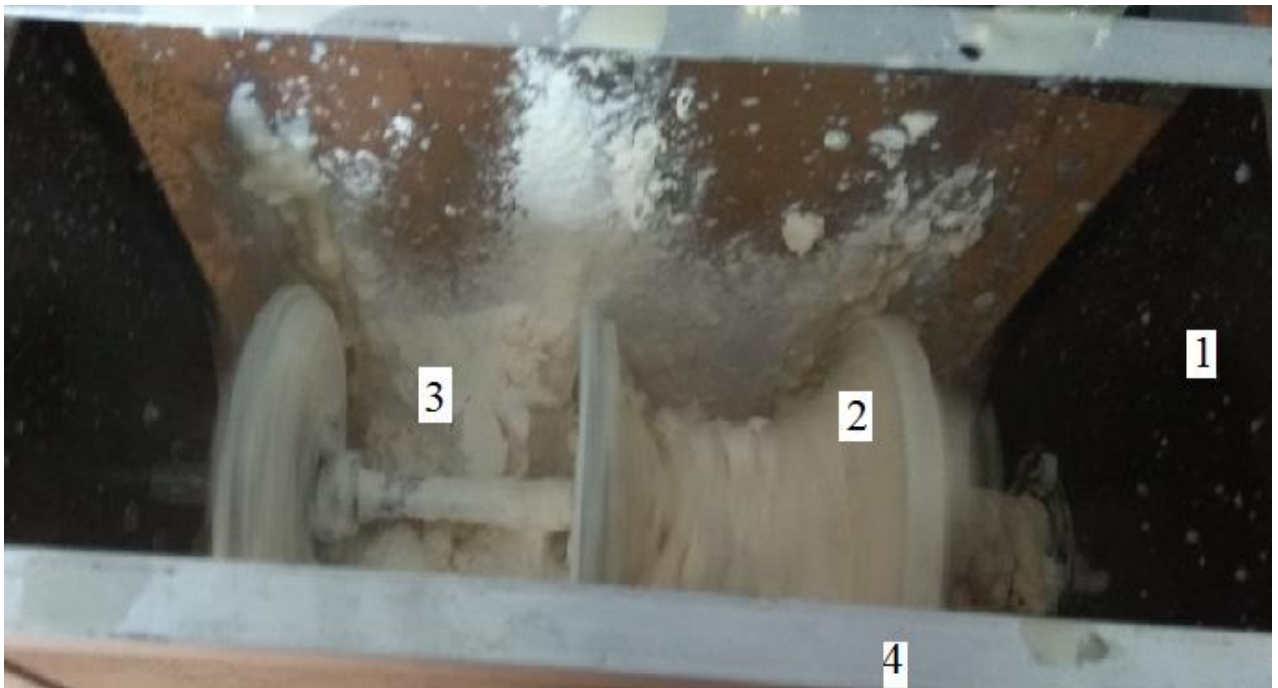


Рисунок 4.3. Вплив тарільчастого робочого органу на суміш компонентів:
1-боковинка робочої камери;2-утворення тіста;3-друга стадія;4-корпус камери

$$A_{1T}(n) := a_1 \cdot b_1 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot \sin(\alpha_1) \cdot \left[(r_{2_1})^2 - (r_{1_1})^2 \right] \cdot \left[(1-k_1) \cdot \pi \cdot \left[(r_{2_1})^2 + (r_{1_1})^2 \right] + \frac{k_1 \cdot (s_1)^2}{2} \right] +$$

$$+ a_{1_1} \cdot b_{1_1} \cdot \rho \cdot n^2 \cdot \sin(\alpha_1) \cdot \left[(r_{4_1})^2 - (r_{3_1})^2 \right] \cdot \left[(1-k_1) \cdot \pi \cdot \left[(r_{4_1})^2 + (r_{3_1})^2 \right] \right]$$

$$A_{1T}(n) = \begin{pmatrix} 1.387 \\ 2.466 \\ 3.855 \\ 4.495 \end{pmatrix}$$

2. Робота на переміщення лопатей

$$\rho_m := 7900 \quad a_s := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad b_s := \begin{pmatrix} 0.027 \\ 0.027 \\ 0.15 \end{pmatrix} \quad \delta := 0.01$$

$$A_{2T}(n) := 0.75 \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot \delta \cdot \rho_m \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot \left[(r_{2_1})^3 - (r_{1_1})^3 \right] + 0.75 \cdot (a_s)_1 \cdot b_{s_1} \cdot \delta \cdot \rho_m \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot \left[(r_{2_1})^3 - (r_{1_1})^3 \right]$$

$$A_{2T}(n) = \begin{pmatrix} 0.861 \\ 1.53 \\ 2.391 \\ 2.788 \end{pmatrix}$$

3. Робота на нагрівання тіста

$$\mu := 10 \quad l := \begin{pmatrix} 0.08 \\ 0.08 \\ 0.1 \end{pmatrix} \quad f := 0.015$$

$$A_{3T}(n) := 124 \cdot a_1 \cdot \mu \cdot n \cdot \left[\frac{(r_{2_1})^4 - (r_{1_1})^4}{l_1} + \frac{2 \cdot (r_{2_1})^3 \cdot b_1 \cdot \sin(\alpha_1)}{f} \right] +$$

$$+ 124 \cdot a_{1_1} \cdot \mu \cdot n \cdot \left[\frac{(r_{4_1})^4 - (r_{3_1})^4}{l_1} + \frac{2 \cdot (r_{4_1})^3 \cdot b_{1_1} \cdot \sin(\alpha_1)}{f} \right]$$

$$A_{3T}(n) = \begin{pmatrix} 161.754 \\ 215.65 \\ 269.611 \\ 291.157 \end{pmatrix}$$

4. Робота на зміну структури тіста

$$A_{4T}(n) := 0.1 \cdot A_{1T}(n) \quad A_{4T}(n) = \begin{pmatrix} 0.139 \\ 0.247 \\ 0.385 \\ 0.45 \end{pmatrix}$$

5. Загальна робота

$$A_T(n) := A_{1T}(n) + A_{2T}(n) + A_{3T}(n) + A_{4T}(n)$$

$$A_T(n) = \begin{pmatrix} 164.140615627 \\ 219.892515724 \\ 276.242264004 \\ 298.890026633 \end{pmatrix}$$

Визначення потужності

$$N_T(n) := A_T(n) \cdot \frac{\eta}{\eta_1 \cdot \eta_2}$$

$$\tau := \begin{pmatrix} 108 \\ 90.6 \\ 78 \\ 75.6 \end{pmatrix} \quad m := 0.6 \quad i := 0..3$$

$$\eta := 0.98 \quad \eta_1 := 0.96 \quad \eta_2 := 0.98$$

При заданих величинах будемо графічну залежність потужності та питомої роботи для різних значень частоти обертання робочого органа (рис.4.3).

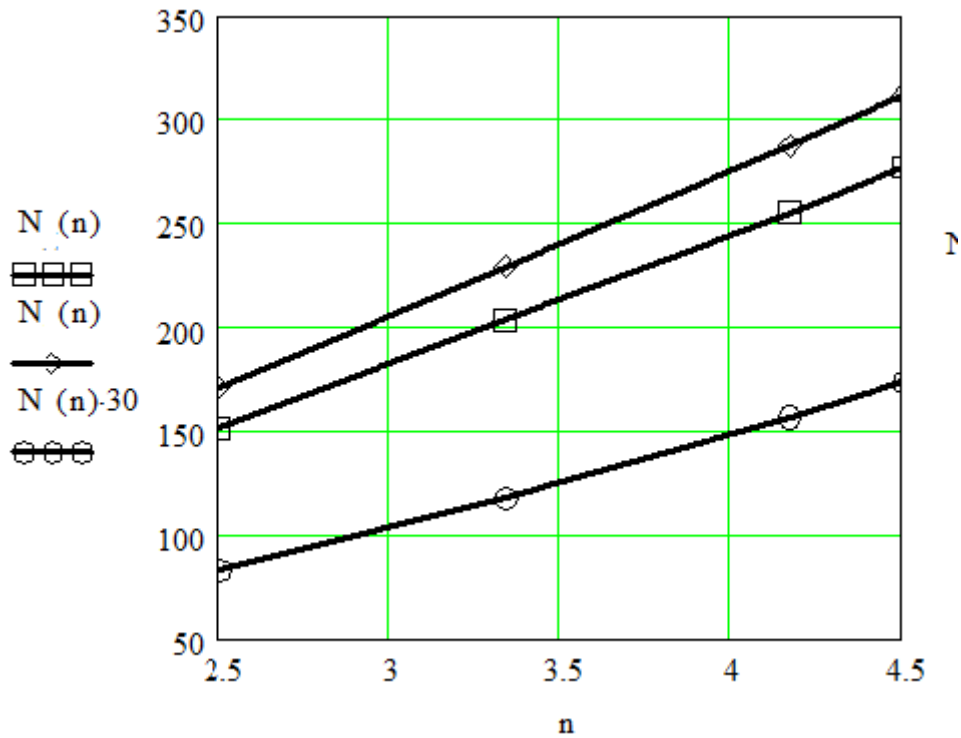
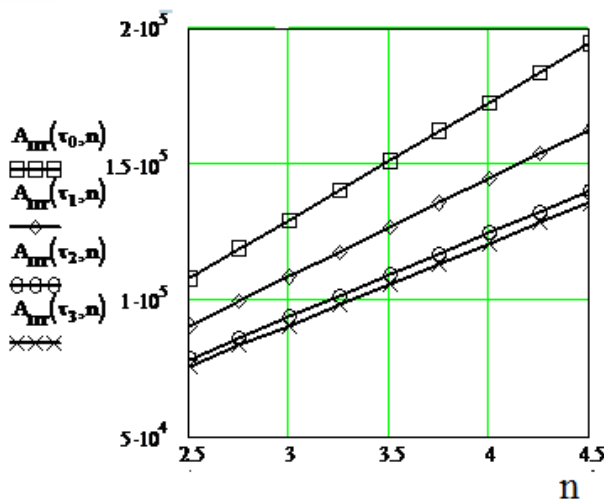


Рисунок 4.4. Залежність потужності для різних значень частоти обертання ТРО



$A_m(\tau_0, n) =$	$A_m(\tau_1, n) =$	$A_m(\tau_2, n) =$	$A_m(\tau_3, n) =$
1.079·10 ⁵	9.052·10 ⁴	7.793·10 ⁴	7.553·10 ⁴
1.187·10 ⁵	9.957·10 ⁴	8.573·10 ⁴	8.309·10 ⁴
1.295·10 ⁵	1.086·10 ⁵	9.352·10 ⁴	9.064·10 ⁴
1.403·10 ⁵	1.177·10 ⁵	1.013·10 ⁵	9.819·10 ⁴
1.511·10 ⁵	1.267·10 ⁵	1.091·10 ⁵	1.057·10 ⁵
1.619·10 ⁵	1.358·10 ⁵	1.169·10 ⁵	1.133·10 ⁵
1.726·10 ⁵	1.448·10 ⁵	1.247·10 ⁵	1.209·10 ⁵
1.834·10 ⁵	1.539·10 ⁵	1.325·10 ⁵	1.284·10 ⁵
1.942·10 ⁵	1.629·10 ⁵	1.403·10 ⁵	1.36·10 ⁵

Рисунок 4. 4. Залежність питомої роботи для різних значень частоти обертання ТРО

Основним показником, який визначається при дослідженні роботи тістомісильних машин, є величина питомої роботи замісу, яка прямопропорційно залежить від загальної енергії, що витрачається протягом

цього процесу. Остання суттєво впливає як на раціональність режиму роботи машини, так і на якість готового виробу, оскільки визначає пік розвитку тіста.

Функціонально рівняння, що описує залежність витрат загальної енергії на заміс від частоти обертання місильного органу має вигляд:

$$E=97.3+0.244n$$

Аналізуючи отримані дані можна стверджувати, що на витрати енергії в процесі замісу суттєво впливає частота обертання місильних органів. Зростання останньої лінійно веде до збільшення споживаної енергії. Величина питомої роботи, що витрачається на заміс Ап (без урахування енергії холостого ходу), зростає з 24 кДж/кг до 33 кДж/кг при збільшенні частоти обертання вдвічі від 200 до 400 об/хв.

Залежність витрат енергії від вологості тіста описується рівнянням:
 $E=137.4w-1.67w^2-2638.9$

Одним з важливих показників, який необхідно визначити в процесі замісу хлібного тіста є визначення тривалості процесу. Якщо вона недостатня, то це призведе до неякісного замісу тіста та нерівномірного розподілу компонентів суміші, якщо надлишкова – до нераціональних енерговитрат та погіршення якості готової продукції. Залежність витрат енергії на заміс від тривалості процесу зображено на рис. 4.5.

З графіків видно, що збільшення тривалості процесу в сукупності зі збільшенням частоти обертання місильного органу нелінійно призводить до збільшення витрат енергії, що є недоцільним з точки зору економічних та технологічних показників.

Функціонально дану залежність можна описати рівнянням:
 $E=1.1t-0.0013t^2-15.9$ (4.3)

Відхилення результатів математичного та фізичного моделювання становить 12.6 %, що підтверджує адекватність створеної математичної моделі.

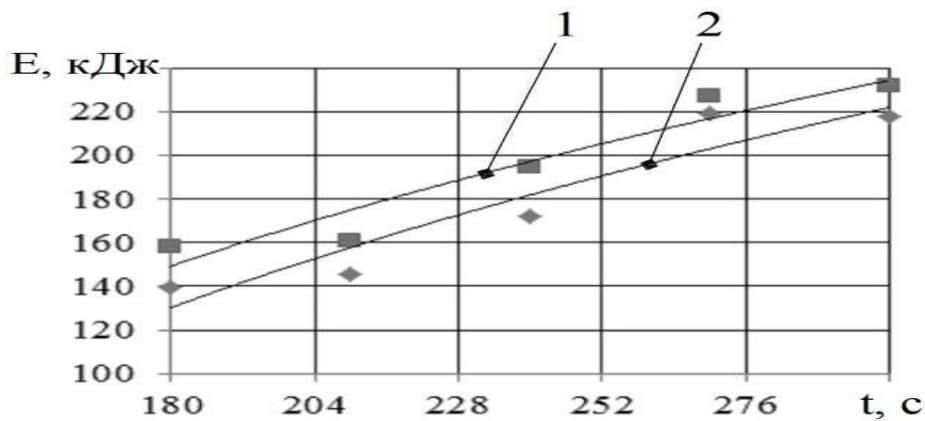


Рис. 4.5. Залежність витрат енергії на заміс від тривалості процесу при частоті обертів ТРО, об/хв- 300: 1 – експеримент; 2 – моделювання

4.2.2. Аналіз зміни температури в процесі замісу

Дослідивши вплив кожного з факторів на витрати енергії в процесі замісу, можна визначити раціональні параметри, в умовах яких слід проводити заміс тіста місильними органами даної конструкції. Дуже важливим в процесі замісу є показник температури тіста, підвищення якої зумовлено дисипацією кінетичної енергії в тепло за рахунок в'язкості продукту. Збільшення останньої вище 32 °С створює несприятливі умови бродіння тіста та зменшує якість готових виробів.

Дослідження зміни температури та швидкості руху замішуваного тіста в робочій камері установки визначали по осі перерізу. На рис.4.6 зображено графік розподілу температури тіста по довжині каналу робочої камери. На початку дільниці 0,016-0,004м робочої камери температура зростає з 300К до 309К, а різниця поданими температурами має 3.5 градусів. Із-за ефекту дисипації енергії борошна та зазору між ТРО і робочою камерою відбувається зміна швидкості зсувних деформацій пересування суміші. Дослідження значень зміни температури в процесі замісу дають змогу стверджувати, що підвищення температури відбувається в межах 6-9 °С та не перевищує допустимих значень (рис.4.6).



Рис. 4.6. Графік розподілу температури по довжині робочої камери змішувача

4.3. Визначення реологічних характеристик вибродженого тіста

Серед операцій, з яких складається процес виробництва хлібних виробів, найбільш тривалою є бродіння. Так, при виготовленні хлібних виробів двофазним способом загальний час бродіння опари і тіста становить 5–6 год. Тому для інтенсифікації процесу і підвищення його ефективності варто шукати можливості скоротити тривалість цієї стадії.

Після замішування тісто розміщували у стакані для бродіння. При вирішенні таких практичних проблем хлібопекарської галузі як точність поділу, в більшості випадків властивість тіста змінювати свій об'єм. Важливо враховувати цю проблему і при дослідженні нашого тіста, що дасть можливість визначити якість дії робочих органів, а також розрахувати відсотковий вміст газової фази в тісті та представити залежність розчинності CO_2 від прикладеного навантаження ТРО.

З метою простежити вплив на кінетику газоутворення рецептурних компонентів були досліджено зразки тіста. Бродіння відбувалося протягом 90 хв. (час t) при атмосферному тиску і температурі 32°C . Покази знімали

через кожні 10 хв. бродіння, фіксуючи об'єм вуглекислоти (V_{CO_2}), яка виділялася з тіста, а також об'єм самого тіста (V_T). Отримані дані перераховані на 100 г борошна. Утворення газу і утримання його тістом зображено на рис.4.7.

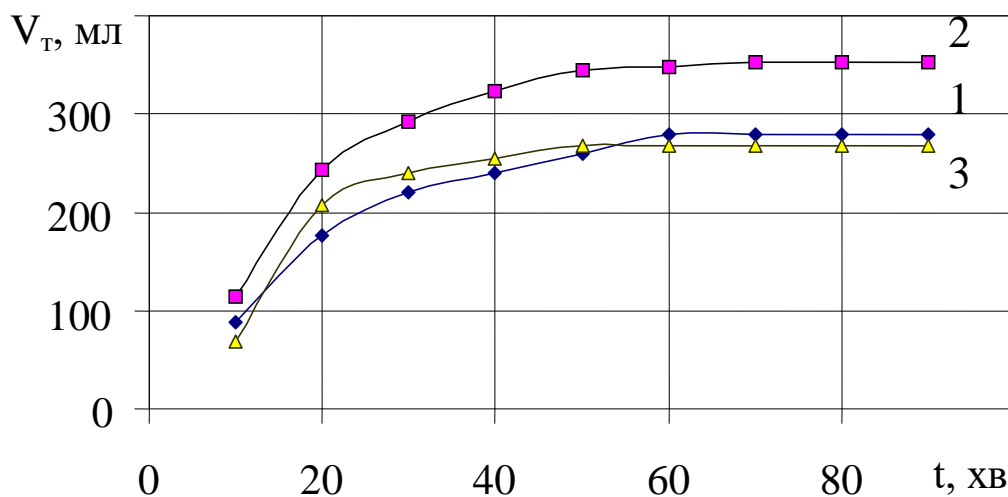


Рис. 4.7. Зміна об'єму тіста замішаного при $n=200$ $n=30$ об/хв від часу бродіння:

1 – контрольний зразок;

2 – тісто при 300об/хв;3-тісто при 200об/хв

Як видно, найбільший об'єм після завершення бродіння має тісто при частоті 300 об/хв. Збільшення обертів негативно позначається на кінцевому об'ємі тіста, який виявляється меншим навіть за об'єм контрольного зразка (268 мл порівняно з 280 мл для контрольного варіанта). Таку закономірність можна пояснити пластикуючим впливом на структуру тіста і, відповідно, зменшенням його в'язкості. Однак подальше зниження в'язкості внаслідок підвищення обертів викликає руйнування стінок газонаповнених пор надлишковим тиском продуктів бродіння, які видаляються в оточуюче середовище.

5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5.1. Аналіз виробничого травматизму.

Рівень травматизму і профзахворювань на підприємствах залежить від рівня організації охорони праці та пожежної безпеки, а також стану трудової дисципліни. Значну роль у питаннях створення здорових і безпечних умов праці відіграє наявність коштів на підприємстві, призначених для охорони праці і професіоналізму працівників.

Розслідування травматизму, аварій і професійних захворювань на підприємствах, в установах і організаціях України проводиться згідно з «Положенням про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємстві в установах і організаціях» (ДНАОП 0-00-4.03 — 98).

Отже, для зниження рівня виробничого травматизму у галузі необхідно по-перше впроваджувати організаційні заходи, а також намагатися покращити трудову і виробничу дисципліну

Основними напрямками по ліквідації виробничого травматизму є:

- підготовка спеціалістів по охороні праці і пожежонебезпеці, а також підвищення рівня знань по охороні праці у всіх інженерно-технічних працівників всіх посад;

- забезпечення робітників підприємства всіма діючими нормативними документами в галузі охорони праці і пожежній безпеці і забезпечення проведення трьохступеневого контролю за станом;

- утриманням обладнання, машин і установок, будівель, споруд у відповідності з діючими положеннями і виключенням випадків допуску до експлуатації несправного або не відповідаючого вимогам нормативних документів обладнання, машин, установок, будівель і споруд;

- підвищення якості навчання і інструктажу по техніці безпеки працівників, а також виключення випадків по техніці безпеки до роботи не проінструктованих працівників;

- забезпечення працівників ефективними засобами захисту у відповідності із специфікою виробничих процесів.

5.2. Заходи щодо техніки безпеки і промислової санітарії.

Планування приміщень, компонування технологічного обладнання, внутрішньоцеховий транспорт і обладнання прийняті відповідно до вимог категорій вибухонебезпечних процесів і класу приміщень.

Для створення безпечних і сприятливих умов праці передбачені наступні заходи: автоматичний контроль, автоматичне регулювання технологічних процесів.

Управління роботою лінії подачі борошна на виробництво здійснюється оператором з пульта управління.

Передбачене автоматичне включення звукової запобігливості сигналізації про роботу борошняних ліній.

Проектом передбачено система автоматизованого управління процесами прийому борошна в складські силосу, видачі її з силосів і транспортування у виробничі збірники.

Виробничі збірники забезпечені сигналізаторами рівня з виведенням сигналу на пульт.

Запроектоване блокування механізмів лінії подачі борошна передбачає їх послідовне включення в порядку, зворотному надходженню муки. Це запобігає перевантаженню обладнання і зводить обслуговування тільки до спостереження за роботою механізмів і машин.

Подача стислого повітря до живильників аерозоль транспорту передусе включенню живильників, що запобігає утворенню завалів борошна в борошняній лінії.

Пуск насосів, що подають рідкі інгредієнти, передбачений ручний, за допомогою кнопки управління, а відключення по досягненню верхнього рівня.

Для зважування борошна передбачені автоматичні зважуючі пристрої. Передбачена електроблокіровка обладнання комплексно-механізованих ліній, у якої у разі зупинки однієї з машин попередні зупиняються, а подальші продовжують працювати.

Передбачене блокування кришок і щитків, що прикривають частини машин, що обертаються, пристроєм для автоматичного виключення машини.

У проекті додержані передбачені нормами відстані між обладнанням, висоти робочих ліній, необхідні проходи в складі сировини і готовій продукції.

Установка обладнання і електродвигунів забезпечує легкий доступ до них для прибирання, очищення і миття.

Всі машини закріплені на підмурках або основах щоб уникнути зміщення. Безпека роботи персоналу забезпечується наявністю огорож всіх рухомих, електропровідних частин машин, що обертаються. Сходи і майданчик для обслуговування обладнання мають обгородження.

Передбачається теплова ізоляція всіх апаратів і комунікацій, випромінюючих тепло. Температура поверхні ізоляції не перевищує 45° С.

Всі електропровідні установки, а також обладнання аерозольтранспортування борошна, трубопроводи борошна і стислого повітря заземлюються для відведення статистичної електрики. Для зручності роботи і правильної експлуатації внутрішніх інженерних мереж проектом передбачається забарвлення в різні попереджувальні кольори паропроводів, виробничих трубопроводів, трубопроводів аерозоль-транспортування борошна, водопроводу і інших комунікацій.

Пуск насосів, що подають рідкі інгредієнти, передбачений ручний, за допомогою кнопки управління, а відключення по досягненню верхнього рівня. Для зважування борошна передбачені автоматичні зважуючі пристрої. Передбачена електроблокіровка обладнання комплексно-механізованих ліній, у якої у разі зупинки однієї з машин попередні зупиняються, а подальші продовжують працювати.

Передбачене блокування кришок і щитків, що прикривають частини машин, що обертаються, пристроєм для автоматичного виключення машини.

У проекті додержані передбачені нормами відстані між обладнанням, висоти робочих ліній, необхідні проходи в складі сировини і готовій продукції. Установка обладнання і електродвигунів забезпечує легкий доступ до них для прибирання, очищення і миття.

Всі машини закріплені на підмурках або основах щоб уникнути зміщення. Безпека роботи персоналу забезпечується наявністю огорож всіх рухомих, електропровідних частин машин, що обертаються Сходи і майданчик для обслуговування обладнання мають обгороджування.

Передбачається теплова ізоляція всіх апаратів і комунікацій, випромінюючих тепло. Температура поверхні ізоляції не перевищує 45° С.

Всі електропровідні установки, а також обладнання аерозольтранспортування борошна, трубопроводи борошна і стислого повітря заземлюються для відведення статистичної електрики. Для зручності роботи і правильної експлуатації внутрішніх інженерних мереж проектом передбачається забарвлення в різні попереджувальні кольори паропроводів, виробничих трубопроводів, трубопроводів аерозоль-транспортування борошна, водопроводу і інших комунікацій.

Трубопроводи пари забарвлюються в яскраво-червоний колір, трубопроводи - в зелений, продуктові технологічні трубопроводи – коричневий, борошнопроводи - в білий колір.

Передбачена аспірація автоматичних терезів для поліпшення санітарного стану приміщень і ліквідації пилу.

Очищення транспортуючого повітря від пилу передбачене фільтрами, що струшуються в складі БХМ і мішковими фільтрами у відділенні виробничих бункерів.

Для антикорозійного захисту труб в проекті передбачено їх фарбування масляною фарбою за два рази, застосування безшовних труб, зварювання

труб встик. Антикорозійний захист технологічного обладнання передбачений машинобудівними заводами при його виготовленні.

5.2. Розроблення заходів захисту роботи від повеней.

Гідрологічні небезпечні явища включають; високі рівні води (повені), дощові паводки, затори і зажери, дію нагонного вітру тощо. Повінь - тимчасове затоплення значної частини суші водою в результаті піднімання рівня води у річці, озері або морі.

Залежно від причин повені природного характеру поділяють на:

- Повені, зумовлені випаданням сильних опадів або інтенсивним таненням снігу (льодовиків) у її басейні річки.

- Повені, що виникають внаслідок поєднання паводкових вод з льодоходом. Льодохід часто супроводжується заторами (нагромадження льоду в руслі ріки) або зажерами (скупчення внутрішньо водного льоду, який утворює льодяну пробку), що зумовлюють додатковий підйом води і затоплення нових територій. У разі прориву водою перешкоди може утворитися навальна хвиля, що створює небезпеку затоплення території, розташованої нижче за течією. Затори найчастіше утворюються на ріках, що течуть із півдня на північ, оскільки південні ділянки ріки звільняються від льоду раніше, ніж північні, і льодохід, що розпочався, зустрічає на своєму шляху перешкоду у вигляді льодоставу. Зажери утворюються у передльодоставний період і, за наявності незамерзаючих ділянок ріки, протягом зими.

- Повені, що виникають під дією нагонного вітру. Вони спостерігаються на морських узбережжях і на гирлових ділянках рік, що впадають у море. Нагонне повітря затримує воду в гирлі, внаслідок чого підвищується її рівень у річці. Повені такого типу спостерігались у дельті Неви, в Голландії, Англії, Німеччині та в інших регіонах земної кулі. Класичним прикладом такого типу

повеней є повені в Санкт-Петербурзі (за час існування міста їх було понад 300). Найбільші повені на Неві були зафіксовані у 1824 і 1924 рр. За своїми наслідками вони наближалися до найбільших паводкових повеней і цунамі.

- Підтоплення. Причинами підтоплення є підвищення рівня ґрунтових вод унаслідок сильних опадів і несправності дренажних систем. Однією з причин підтоплення земель є гідротехнічне будівництво, що може призвести до перерозподілу річкового стоку та перекриття природних шляхів дренажу ґрунтових вод.

- Гідрологічне стихійне лихо викликане цунамі теж розглядається як різновид повеней, хоч і має причини тектонічного характеру.

Спеціалісти вважають, що людям загрожує небезпека, коли шар води досягає 1 м, а швидкість потоку перевищує 1 м/с. Підйом води на 3 м призводить до руйнування будівель та споруд.

В Україні повені є найпоширенішим стихійним лихом.

Дії під час повені на підприємстві. Коли є загроза повені, на підприємстві при необхідності зупиняється робота деяких підрозділів, цехів, відділів, а в окремих випадках і всього підприємства. У підрозділах, які тимчасово припинили роботу, виключають електроенергію, припиняють подачу пари, газу, води.

На об'єктах організовують цілодобове чергування відповідальних посадових осіб, спеціалістів аварійно-технічної служби.

Для захисту від затоплення населених пунктів, господарських будівель, виробничих приміщень споруджують найпростіші

захисні гідротехнічні споруди: земляні насипи, загати, греблі. Крім цього, потрібно організувати спостереження за такими спорудами. Поблизу них, на випадок просочування води,

розміщують аварійні матеріали для закривання проривів і для нарощування дамб.

Розміри людських та матеріальних втрат під час повені залежить від характеру і масштабів повені, щільності населення на території, що затоплюється, відстані населених пунктів від джерела повені, характеру забудови, вартості матеріальних цінностей, розміщених на території затоплення, наявності захисних споруд, екологічно небезпечних об'єктів, пори року і доби тощо.

Важливими умовами ефективного проведення рятувальних робіт під час повені є прогнозування можливого часу виникнення і масштабів повеней, своєчасність оповіщення населення і його евакуації, організація пошуку людей на затопленій території, чіткість проведення аварійно-рятувальних робіт, кількість рятувальних загонів їх забезпеченість спеціальними засобами та технікою і підготовленість особового складу цих формувань, своєчасність і якість надання медичної допомоги потерпілим, організація чіткої взаємодії між органами охорони здоров'я, рятувальними та іншими формуваннями, що беруть участь у ліквідації наслідків повені та наданні першої медичної допомоги потерпілим.

В умовах великого міста у разі катастрофічної повені питома вага потерпілого населення, яке потребує екстреної медичної допомоги (у % від чисельності населення), буде коливатися у теплий період року вдень від 0,02% до 2,7%, уночі - від 0,06% до 4,5%; у холодний період року - від 0,04% до 4,3% удень і до 0,08%-5,7% уночі.

При безпосередній загрозі затоплення рішенням начальника ЦО району (об'єкта) приводиться в готовність пункт управління,

на якому організують чергування відповідальних посадових осіб, уточнюють завдання штабу, служб і формувань цивільної оборони.

Із виникненням загрози затоплення організують термінову евакуацію населення та матеріальних цінностей. Населенню повідомляють місця розгортання збірних евакуаційних пунктів, строки прибуття на пункти, маршрути евакуації.

Пошук людей на затопленій території та евакуацію здійснюють формування цивільної оборони, населення і, при можливості, військові підрозділи. Для цього залучаються всі плавзасоби (боти, баржі, катери, човни) тощо, можна використати підручні засоби (колоди, дошки, бочки) і спорудити плоти, переправляти людей дозволяється і у позначеному броді глибиною не більше 1 м.

Після того, як вода спала приступають до ліквідації наслідків затоплення, повені. Ці роботи передбачають: відведення води із затоплених місць та їх осушення; завалювання і прибирання напівзруйнованих споруд, які не підлягають відновленню; відкачування води із підвальних та інших приміщень; ремонт пошкоджених водою будівель, комунально-енергетичної мережі, доріг, мостів та інших споруд; очищення затоплених ділянок, сільськогосподарських земель, угідь, території тваринницьких ферм, сільських вулиць, дворів та ін.

Висновки

В даному розділі розкрито створення здорових і безпечних умов праці на хлібозаводі та розглянута класифікація гідрологічних небезпечних явищ.

Загальні висновки

В даній роботі розглянуто процес тістоутворення на експериментальній установці на базі неперервно діючої машини А2-ХТТ. Створено математичну модель процесу виконаної роботи на замішування тіста новими тарільчастими робочими органами та визначено її основні складові. Проведено аналіз деформування дріжджового тіста в умовах сильного навантаження. На основі багатофакторного аналізу визначено основні конструктивні характеристики тарільчастого робочого органу. Згідно конструктивних розрахунків розроблено робочі органи, на яких проводились дослідження замішування тіста. Дослідження було спрямовано на досягнення встановлення гідродинаміки в робочій камері та процесу утворення тіста.

Аналіз отриманих результатів досліджень дав можливість зробити такі висновки:

Проведений аналіз теоретичних і експериментальних результатів встановив, що основними характеристиками ТМ з ТРО для забезпечення необхідного замішування є реологічні показники. Дані реологічних показників замішаного тіста дають підхід до раціонального вирішення виконання технологічного процесу. На основі цього розкрито фізичну суть процесу замішування тіста.

Відзначено, що однією з основних причин конструювання нових форм ТРО ТМ залишається задача оптимізації деформаційних процесів. Проведено аналіз основних форм математичного опису стадійності замішування на установці. Розглянуто математичні моделі, що описують роботу тістомісильної машини.

Розроблено стенд для проведення досліджень та розглянуто обладнання для вимірювання структурно- механічних характеристик тіста. Результати гідродинаміки руху рідини показали доцільність у використанні тарільчастих

робочих органів. Відповідно встановлено вихровий рух та напрямки утворення ламінарного та турбулентного режиму.

Результати замішування тіста по розробленій рецептурі дозволили визначити реологічні характеристики:

час бродіння становив 65хв;

накопичена кислотність -3.2^0

в'язкість тіста- $8 \cdot 10^5$ Па/с.

Перелік посилань

1. Соколов В.Н. Конструирование оборудования пищевых производств.- М.: Пищевая промышленность, 1979-348с.
2. Гулий І.С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості К.: Нова книга 2000 р. – 575 с.
3. Лисовенко А. Т.Смесительные машины в хлебопекарной и кондитерской промышленности. К.: Урожай, 1990 – 192 с.
4. Харламов С. В. Конструирование технологических машин пищевых производств. М.: Машиностроение, 1979 г. – 256с.
- 5 Стадник І. Я. Процеси та машини для замішування тіста / І. Я. Стадник, О. Т. Лисовенко // Тернопіль: видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя 2011.- 212с.
6. Стадник І. Я. Процеси першої стадії замішування на новій тістомісильній машині / І. Я. Стадник // Вісник ТДТУ, Науковий журнал, випуск №2, том 14., Тернопіль–2009 -С. 72-79.
7. Стадник І. Я Процеси другого періоду першої стадії замішування на новій тістомісильній машині / І. Я. Стадник // Вісник ТДТУ, Науковий журнал, випуск №3, том 14., Тернопіль–2009 -С. 81-85.
8. Козьмина Н. П. Биохимия хлебопечения / Н. П. Козьмина // - М.: Пищевая промышленность.- 1978.-274с.
9. Лисовенко О. Г. - Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв.- Київ: Наукова думка, 2006. - 281с.
10. Стадник І. Я., Пристрій для визначення реологічних властивостей тіста. / І. Я. Стадник , О. Т. Лисовенко, В. Я. Федів // Хранение и переработка зерна, 2008р. - №11, – С. 57-58.
11. Стадник І. Я. Шляхи зниження енергозатрат при замішуванні тіста. / І. Я. Стадник // Вісник ТДТУ імені Івана Пулюя №1. Том.13.– Тернопіль, - 2008р.-110-114с.

12. Мачихин Ю. А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю. А. Мачихин, С. А. Мачихин – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.
13. Курсовое проектирование деталей машин: С.А.Чернавский, К.Н.Боков, И.М.Чернин и др.-М.: Машиностроение, 1987.- 416 с.
14. Моргун В.А. Улучшение хлебопекарных качеств муки. – К.:Урожай.- 1991.- 136с.
15. Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyy, Olena Eremeeva, Halyna Karpyk
FEATURES OF HEAT TRANSFER IN THE ENVIRONMENT WHEN IT IS
SPRAYED WITH ROTARY ROLLERS // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food
Sciences* vol. 12, 2018, no. 1, p. 824-835 doi: <https://doi.org/10.5219/977>
16. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. В 3-х т. – 6-е изд., М.: Машиностроение 1982
17. Тамарковский М.А., Царева А.Г. Ремонт и монтаж оборудования. М.: Агропромиздат, 1987 – 263с.
18. Стадник І. Я. -Деклараційний патент № 34840 Україна. Тістомісильний орган.- МПК (2006) A1 F1/ 00 U2008 03375 Бюл №16. 1-с.
19. Мирончук В.Г. Обладнання підприємств харчової промисловості: підручник/ В.Г. Мирончук.-Віниця: Нова книга., 2007.-648с

Значення розрахункових параметрів для тарілчастого місильних органів

Позначення	Параметри	Значення
1	2	3
A	Кількість місильних лопатей, <i>шт</i>	1
B	Ширина місильної лопаті, <i>м</i>	0,01
B	Товщина місильної лопаті, <i>м</i>	0,015
r_1	Відстань від осі обертання до початку місильної лопаті, <i>м</i>	0,07
1	2	3
r_2	Відстань від осі обертання до кінця місильної лопаті, <i>м</i>	0,085
α	Кут нахилу місильної лопаті, <i>град</i>	30
S	Крок твірної нахилу місильної лопаті, <i>м</i>	0,3011
F	Зазор між кінцями лопатей і стінками місильної камери, <i>м</i>	0,015
N	Частота обертання місильного валу, <i>c⁻¹</i>	1,66÷4,5
L	Відстань між місильними органами, <i>м</i>	0,100
a_L	Кількість гальмівних лопатей, <i>шт</i>	1
b_L	Ширина гальмівних лопатей, <i>м</i>	0,15
δ_L	Кут нахилу гальмівної лопатки, <i>град</i>	0
r_3	Відстань від осі обертання до початку гальмівної лопаті, <i>м</i>	0,1
K_L	Коефіцієнт подачі тіста для гальмівної лопаті	0,025
ρ	Густина тіста, <i>кг/м³</i>	1100
μ	Динамічна в'язкість тіста, <i>Па·с</i>	10
ρ_m	Густина металевих частин машини, <i>кг/м³</i>	7900
K	Коефіцієнт подачі тіста для лопатей	0,05
Z_1	ККД приводу машини	0,98

Результати розрахунку

№	п,об/хв	A1,Дж/об	A2,Дж/сб	A3,Дж/об	A4,Дж/об	A,Дж/об	Апит,Дж/Г	N,кВт
1	50	115,30	2,50	1009,926	11,53	1139,26	3,42	1,1
2	55	139,51	3,03	1110,919	13,95	1267,41	4,18	1,3
3	60	166,03	3,60	1211,911	16,60	1398,15	5,03	1,6
4	65	194,86	4,23	1312,904	19,49	1531,47	5,97	1,8
5	70	225,99	4,90	1413,897	22,60	1667,39	7,00	2,2
6	75	259,42	5,63	1514,889	25,94	1805,89	8,13	2,5
7	80	295,17	6,41	1615,882	29,52	1946,97	9,35	2,9
8	85	333,22	7,23	1716,874	33,32	2090,64	10,66	3,3
9	90	373,57	8,11	1817,867	37,36	2236,90	12,08	3,7
10	95	416,23	9,03	1918,860	41,62	2385,75	13,60	4,2
11	100	416,20	10,01	2019,852	46,12	2537,18	15,22	4,7

Таблиця А.3

	<i>T,</i> <i>H·m</i>	<i>M_x,</i> <i>H·m</i>	<i>M_{екв},</i> <i>H·m</i>
A	411,63	0	411,63
B	411,63	-27,53	412,55
C	384,19	-54,61	388,05
D	356,65	-77,52	365,08
E	329,31	-84,56	339,99
F	301,87	-106,38	320,07
G	219,54	-104,26	243,04
H	192,10	-116,13	224,47
K	109,77	-110,02	155,42
L	82,33	-116,51	142,66
M	0	0	0

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1. Калиняк В., Древніцький М., Стадник І. Ефективність проектування нового тістомісильного обладнання Матеріали 7 Міжнародної науково-технічної конференція молодих вчених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»- Тернопіль 28-29 листопада 2018р.с
2. Калиняк В., Стадник І. Фактори впливу на структуру тіста/Міжнародна студентська науково-технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» м. Тернопіль. ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019.с7-8.

Міжнародна студентська науково - технічна конференція
"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"

Міністерство освіти і науки України,
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет в Кошице (Словаччина)
Каунаський технологічний університет (Литва)
Львівський національний університет імені
Івана Франка,
Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця
(Польща)
Луцький національний технічний університет,
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича,
Вроцлавський економічний університет (Польща)
Донбаська державна машинобудівна академія



Студентське наукове товариство



II МІЖНАРОДНА
студентська науково - технічна конференція
"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ
НАУКИ.

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"

25-26 квітня 2019 р.

(збірник тез конференції)

Тернопіль 2019

ББК 72+34 (Укр)
М34

Матеріали II Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя (м. Тернопіль, 25-26 квітня 2019 р.), 2019.- 403 с.

збірнику друкуються матеріали II Міжнародної студентської науково-технічної конференції. Тернопіль. – ТНТУ ім. І. Пулюя (25-26 квітня

2019р.) за наступними науковими напрямками:

математичне моделювання і механіка, машинобудування, машини та обладнання сільськогосподарського виробництва; приладобудування; матеріалознавство, міцність матеріалів і конструкцій; електротехніка, електроніка та світлотехніка; математика; фізика; хімія, хімічна, біологічна та харчова технології; обладнання харчових виробництв; інформаційні технології, гуманітарні науки, економіка, менеджмент, фінанси, біомедична інженерія; зварювання та споріднені процеси і технології, інженерія продукції.

.

Редакційна колегія:

д.т.н. Петро Ясній, д.е.н. Богдан Андрушків, д.т.н. Олег Ляшук, д.ф.-м.н. Леонід Дідух, д.т.н. Ігор Стадник, д.ф.н. Анатолій Довгань, д.ф.н. Андрій Криськов, д.т.н. Володимир Андрійчук, д.т.н. Анатолій Лупенко, д.т.н. Сергій Лупенко, д.т.н. Ігор Луців, к.ф.-м.н. Михайло Михайлишин, д.т.н. Михайло Пилипець, к.ф.н. Василь Ніконенко, д.т.н. Роман Рогатинський, д.т.н. Петро Стухляк, д.т.н. Михайло Паламар, д.е.н. Наталія Кирич, д.т.н. Микола Підгурський, д.т.н., Микола Приймак, д.б.н. Володимир Юкало, д.б.н. Олег Покотило, д.т.н. Богдан Яворський, к.ф.-м.н. Борис Шелестовський, д.ф.-м.н. Андрій Кривень, д.т.н. Павло Марущак, д.е.н. Олена Панухник, к.е.н. Ольга Білоус, д.е.н. Володимир Фалович, д.т.н. Тетяна Вітенько, д.т.н. Чеслав Пулька, д.п.н. Надія Буняк, д.т.н. Віктор Барановський, д.ф.-м.н. Михайло Петрик.

Комп'ютерний набір, верстка та редагування:
науковий секретар Ігор Окіпний

Адреса конференції:

46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана

Пулюя тел. (0352) 25-35-09, e-mail: snt@tu.edu.te.ua

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

УДК 664.643.1

Калиняк В. – ст. гр. МОНМ-51

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА СТРУКТУРУ ТІСТА

Науковий керівник: д.т.н., професор Стадник І. Я.

Kalyniak V.S.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

FACTORS AFFECTING THE STRUCTURE OF THE DOUGH

Supervisor: Stadnyk I. Y.

Ключові слова: замішування, структура, тісто.

Keywords: mixing, structure, dough.

Кінцевою метою замішування є отримання напівфабрикатів або готових виробів з найліпшими показниками якості. При цьому треба забезпечити ефективність технологічного процесу і досягнути заданої продуктивності. Параметри процесу замішування, що є зв'язком між факторами, однозначно впливають на характеристики готової продукції. Можемо відмітити, що системні змінні процесу і характеристики замішаного тіста визначаються кількісним і якісним складом його інгредієнтів. До факторів процесу замішування тіста відносяться специфіка дії дозаторів компонентів, конфігурація місильного робочого органу і пластифікатора; режими трьох стадій замішування – температура, тривалість і, головне, тиск. Змінюючи вказані фактори, можна визначити раціональні умови проведення замішування для отримання різних видів тіста.

Пластикція тіста при певних раціональних режимах призводить до поліпшення якості виробів і економії матеріальних ресурсів. Тому не дивно, що саме цьому питанню приділяється значна увага науковців при створенні нових технологій і тістомісильних машин.

Більшості тістомісильних машин вітчизняного та закордонного виробництва, напівфабрикат у робочій камері замішується робочими органами різної конфігурації. У літературних джерелах відзначено, що при перевищенні певного граничного значення тиску відбувається небажана зміна структури тіста, погіршення його якостей при збільшенні витрат електроенергії. При цьому раціональна механічна обробка позитивно впливає на колір м'якуша, сприяє поліпшенню структури пористості, підвищенню газоутворної здатності тіста, що позитивно впливає на якість готових виробів.

Враховуючи швидкий розвиток і великі можливості сучасної обчислювальної техніки, при розв'язанні проблеми визначення раціональних параметрів процесу замішування і дальшої розробки відповідного обладнання варто користуватися методами математичного моделювання.

галузі замішування математичне моделювання застосовують досить широко, але замішування тіста дисковими робочими органами і регулятивною поверхнею пластифікатора - вперше. Ряд авторів створили класичні математичні моделі, побудовані на рівняннях збереження руху в'язкого матеріалу, які враховують аномалію в'язкості. Однак в них передбачено перетворення отриманої системи диференціальних

рівнянь до безрозмірно-критеріального вигляду з використанням критеріїв Re , Eu , Ec , Pe , що досить не зручно.

Реологічні рівняння, що використовуються, не можуть задовільно описати поведінку дріжджового тіста з характеристиками пружно-пластично-в'язкий матеріал, тому потрібно знайти інший вираз для рівняння стану. Крім того, і залежність в'язкості від зовнішніх умов має характеризувати саме тісто відповідної рецептури. Недоліком вище згаданої роботи є неврахування сил тертя, що спрощує розв'язання поставлених завдань, але не дозволяє отримувати реальну картину процесу.

ЗМІСТ

<i>Секція:</i>	<u>Обладнання харчових виробництв</u>	
Базар В. КЛАСИФІКАЦІЯ МАШИН ДЛЯ ПРОСІЮВАННЯ БОРОШНА		3
Венгринович С. ОСОБЛИВОСТІ ДІЇ СИЛ АДГЕЗІЇ НА ГРАНИЦІ РОЗДІЛУ ПРОДУКТ - ТВЕРДЕ ТІЛО		4
Коваль С. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ У ВИРОБНИЦТВІ МІНЕРАЛЬНОЇ ВОДИ ТА БЕЗАЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ		5
Калиняк В. ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА СТРУКТУРУ ТІСТА		7
Кравченко Х., Стадник І.Я. ВПЛИВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ НА АДГЕЗІЮ МІКРОБНОЇ БІОПЛІВКИ <i>S. AUREUS</i> ТА <i>E. COLI</i> У МОЛОЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ		8
Мацєга Р. СУЧАСНІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ		10
Нікітюк П. МЕТОДИ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА		12
Окіпний С. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ПИВОВАРНОЇ ГАЛУЗІ В УКРАЇНІ		14
Паньків Ю. ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЧА		16
Подольнчук В. ЕКСТРАГУВАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ РІЗНИМИ СПОСОБАМИ ТА МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ПРОЦЕСУ		17
Свинчак У. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ЦУКРУ		19
Шмагло І. ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД М'ЯСОПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ		20

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Національна академія наук України
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Шяуляйська державна колегія (Литва)
Жешувський політехнічний університет ім. Лукасевича (Польща)
Білоруський національний технічний університет (Республіка Білорусь)
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна)
Наукове товариство ім. Шевченка
ГО «Асоціація випускників Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник

тез доповідей

Том III

**VII Міжнародної науково-технічної
конференції молодих учених та студентів
28-29 листопада 2018 року**



УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2018

УДК 001

A43

Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2018. – 276.

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Ясній Петро Володимирович – д.т.н., проф., ректор ТНТУ ім. І. Пулюя (Україна).

Заступник голови: Рогатинський Роман Михайлович – д.т.н., проф. ТНТУ ім. І. Пулюя (Україна)

Вчений секретар: Дзюра Володимир Олексійович – к.т.н., доц. ТНТУ ім. І. Пулюя. (Україна)

Члени: Вухерер Т. – професор факультету інженерної механіки Маріборського університету (Словенія); Фресард Ж. – професор університету П'єра і Марії Кюрі (Франція); Вінаш Я. – професор кафедри технології металів Технічного університету у Кошице (Словаччина); Прентковскіс О. – декан факультету Вільнюського технічного університету ім. Гедимінаса (Литва); Шяджювене Н. – директор Шяуляйської державної колегії (Литва); Стахович Ф. – завідувач кафедри обробки матеріалів тиском Жешувського політехнічного університету ім. Лукасевича (Польща); Богданович А. – професор кафедри механіки Білоруського національного технічного університету (Республіка Білорусь); Меноу А. – д.т.н., професор Міжнародного університету цивільної авіації (Марокко); Ловейкій В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри конструювання машин національного університету біоресурсів і природокористування України; Андрейків О. – д.т.н., професор кафедри механіки Львівського національного

університету ім. І. Франка, член-корр. НАН України.

Адреса оргкомітету: ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001,

тел. (096) 2366752, факс (0352) 254983

E-mail: volodymyrdzyura@gmail.com

Редагування, оформлення, верстка: Дзюра В.О.

СЕКЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, ЯКІ ПРЕДСТВЛЕНІ В ЗБІРНИКУ

- електротехніка та енергозбереження;
- фундаментальні проблеми харчових біо- та нанотехнологій;
- економічні та соціальні аспекти нових технологій

УДК 664.653.1

В.С. Калиняк, М.В. Древницький, І.Я. Стадник, док. техн. наук, проф.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

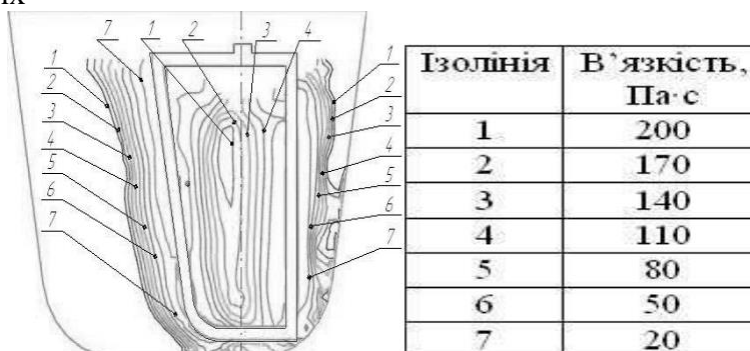
ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТУВАННЯ НОВОГО ТІСТОМІСИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

V.S. Kalyniak, M.V. Drevnitskyi, I.Y. Stadnyk, Dr., Prof.

THE EFFECTIVENESS OF DESIGNING NEW DOUGH EQUIPMENT

Тістомісильне обладнання займає одне з провідних місць при виготовленні хлібобулочних виробів, так як якість замісу опари чи тіста суттєво впливає на якість готових виробів. При розробці нових тістомісильних машин виникає проблема у виборі того чи іншого місильного органу, частоти обертання лопаті або місильної ємкості, тривалості. Це, в свою чергу, значно сповільнює процес проектування нового обладнання, а в деяких випадках не дає необхідного результату, адже вибір робочих органів відбувається інтуїтивно, за допомогою практичних дослідів.

Використання традиційного процесу проектування тістомісильних машин займає багато часу, сил та коштів і не дає гарантії, щодо отримання раціонального рішення. Одним із способів, який дасть можливість якісно “відтворити” процес замісу опари чи тіста в хлібопекарському та макаронному виробництві є метод комп’ютерного моделювання. За допомогою даного методу ми маємо можливість заздалегідь отримати необхідні гідродинамічні та енергетичні параметри процесу перемішування в’язкої рідини, що, в свою чергу, дає можливість ефективного проектування нового тістомісильного обладнання. Використовуючи метод комп’ютерного моделювання можна з великою точністю визначити напрям та швидкість руху в’язкої маси в місильній ємкості, отримати значення розподілу тиску, густини, концентрації суміші в будь – якій точці даного об’єму. На рис. показано зони розподілу в’язкості тіста у вертикальній площині досліджуваних тістомісильних



Аналізуючи картину руху місильних органів в робочій масі, ми вперше можемо побачити розподіл в’язкості тіста в місильній ємкості.