

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра технологічних процесів та обладнання
переробних і харчових виробництв

Допущений до захисту:
завідувач кафедри
д.т.н., професор Севостьянов І.В.

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« 10 » _____ грудня _____ 2019 р.

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТІСТОМІСИЛЬНОЇ МАШИНИ З
ОБ'ЄМНО-ГВИНТОВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

Виконав: студент групи 61-МП
Паламарчук Владислав Олександрович

Керівник: д.т.н., професор
Севостьянов Іван Вячеславович

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра технологічних процесів
та обладнання переробних і
харчових виробництв

Інженерно-технологічний
факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

зав. кафедри ТПОПХВ

д.т.н., професор _____ Севостьянов І.В.

« ___ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

студенту _____ Паламарчуку Владиславу Олександровичу _____

на тему

«Розробка та дослідження тістомісильної машини з об'ємно-гвинтовим
робочим органом»

затверджену Наказом від 20 травня 2019 року № 106м

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План-проспект магістерської роботи.
3. Підручники та навчально-методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТІ).
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.
6. Дані власних досліджень, одержаних за попередній період.

Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Обсяг, стор.	Термін підготовки	Підпис керівника
Анотація		2	листопад 2019 року	
Вступ		5	листопад 2019 року	
Розділ 1	Стан питання, постановка проблеми	17	листопад 2019 року	
Розділ 2	Теоретичне обґрунтування удосконалення технології замішування тіста та розробка конструкції тістомісильної машини з об'ємно-гвинтовим робочим органом	10	листопад 2019 року	
Розділ 3	Програма і методика експериментальних досліджень	14	листопад 2019 року	
Розділ 4	Результати експериментальних досліджень	28	листопад 2019 року	
Розділ 5	Економічна ефективність інтенсифікації технологічного процесу замішування тіста на тістомісильній машині з об'ємно-гвинтовим робочим органом	6	листопад 2019 року	
Висновки		1	листопад 2019 року	
Список використаної літератури		4	Квітень 2019 року – листопад 2019 р.	

Термін подання роботи на кафедру
для попереднього захисту «10» _____ грудня _____ 2019 р.

Завдання видано _____ «14» _____ березня _____ 2019 р.

Завдання прийняв до виконання _____

Керівник _____ І.В. Севостьнов д.т.н., професор
(підпис)

АНОТАЦІЯ

У магістерській кваліфікаційній роботі розглядається технологічний процес механічного замішування тіста, що забезпечує стандартні реологічні показники якості тіста і підвищення інтенсифікації процесу приготування тіста. Вдосконалений технологічний процес виробництва пшеничного тіста і розроблені шляхи його інтенсифікації з використанням об'ємно-гвинтового способу замішування тіста, модернізованої конструкції нового робочого органу тістомісильної машини з розміщенням тістомісильних лопатей по гвинтовій лінії. Проведені теоретичні дослідження технологічного процесу механічного замішування тіста і обґрунтовано необхідність використання об'ємно-гвинтового способу замішування тіста. Отримані математичні залежності впливу основних конструктивних параметрів дослідної експериментальної установки на реологічні показники тіста. Досліджено вплив динаміки зміни якісних і виробничо-енергетичних характеристик замішування тіста на вибір оптимальної частоти обертання місильного органу, температуру рецептурних компонентів, внесених в тісто, і її підтримку в процесі замішування. Розроблені математичні моделі технологічного процесу приготування тіста з об'ємно-гвинтовим робочим органом. Виявлені технологічні особливості процесу замішування тіста при використанні об'ємно-гвинтового способу замішування тіста.

SUMMARY

In the master's qualification work is considered the technological process of mechanical kneading of the dough, which provides standard rheological parameters of the quality of the dough and increase the intensification of the dough preparation process. Improved technological process of production of wheat dough and ways of its intensification with the use of three-screw method of kneading the dough, modernized design of the new working body of the kneading machine with placing the dough blades on a screw line. Theoretical researches of technological process of mechanical kneading of the dough are conducted and the necessity of using the three-screw screw method of kneading the dough is substantiated. The mathematical dependences of the influence of the basic design parameters of the experimental experimental setup on the rheological parameters of the test are obtained. The influence of the dynamics of changing the qualitative and production and energy characteristics of kneading the dough on the choice of the optimum speed of rotation of the kneading organ, the temperature of the recipe components made into the dough, and its support in the kneading process are investigated. Mathematical models of technological process of dough preparation with three-screw working body are developed. The technological peculiarities of the dough kneading process when using the three-screw dough kneading method are revealed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. СТАН ПИТАННЯ, ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ.....	13
1.1 Аналіз та узагальнення наукових досліджень технологічних властивостей процесу замішування тіста	13
1.2 Існуючі технології та конструкції обладнання для виконання робочої операції із замішування тіста	16
1.3 Патентні дослідження по сучасним технологічним розробкам для вдосконалення процесу замішування тіста	25
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАМІШУВАННЯ ТІСТА ТА РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТІСТОМІСИЛЬНОЇ МАШИНИ З ОБ'ЄМНО-ГВИНТОВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ	30
2.1 Теоретичні передумови інтенсифікації технологічного процесу замішування при використанні об'ємно-гвинтового способу приготування тіста	30
2.2 Дослідження впливу технологічних параметрів замішування тіста по об'ємно-гвинтовому способу на конструктивно- технологічні параметри діжі	35
2.3 Визначення впливу основних параметрів процесу замішування тіста на якісні показники готової продукції	36
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	40
3.1 Програма експериментальних досліджень	40
3.2 Вимірювальна апаратура та прилади для визначення основних параметрів процесу приготування тіста	41
3.3 Розробка конструкції тістомісильної машини з модернізацією робочого органу	48
3.4 Розробка і виготовлення дослідного зразка тістомісильної	

машини	49
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	54
4.1 Дослідження впливу конструктивних параметрів на інтенсифікацію процесу замішування тіста	54
4.2 Визначення впливу об'ємно-гвинтового способу замішування тіста на конструктивні параметри діжі	55
4.3 Результати досліджень впливу об'ємно-гвинтового способу замішування на технологічні показники тіста	58
4.4 Моделювання технологічного процесу замішування тіста з використанням об'ємно-гвинтового способу	64
4.5 Результати аналізу конструктивно-технологічних параметрів тістомісильної машини при замішуванні пшеничного і житнього тіста	79
5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗАМІШУВАННЯ ТІСТА НА ТІСТОМЕСІЛЬНІЙ МАШИНІ З ОБ'ЄМНО-ГВИНТОВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ	82
5.1 Технології приготування тіста на тістомісильної машині з об'ємно-гвинтовим робочим органом	82
5.2 Розрахунок економічної ефективності від впровадження тістомісильної машини з об'ємно-гвинтовим робочим органом	84
ВИСНОВКИ ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

ВСТУП

Актуальність дисертаційного дослідження. хлібопекарська промисловість України є однією з найважливіших галузей народного господарства, і темпи її розвитку в бік збільшення об'ємів виробництва, розширення асортименту та поліпшення якості готової продукції безперервно ростуть. Тема даного дослідження є актуальною, має громадську та наукову значущість для науки і практики.

Основною технологічною операцією, що визначає процеси інтенсифікації виробництва хлібобулочних виробів, є замішування тіста. Метою виконання технологічної операції з приготування тіста з основної і додаткової сировини є отримання структурної однорідної маси, що відповідає фізичним властивостям тіста, для переходу на наступні етапи технологічного процесу виробництва хліба та хлібобулочних виробів з високими якісними показниками. Дана технологічна робоча операція при виробництві тіста відбувається з використанням тістомісильних машин, які безперервно вдосконалюються і модернізуються на основі виконаних наукових досліджень, що дозволяє створити теоретичну базу процесу замішування, обґрунтувати конструкцію нових тістомісильних машин і організувати їх серійний випуск.

Удосконалення технологічного процесу замішування тіста є соціальним запитом, оскільки щоденне вживання хліба дієтичного та функціонального призначення впливає на здоров'я населення України. Дипломна робота є актуальною і затребуваною, тому що виконане дослідження орієнтоване на поглиблення теоретичних знань в області технологічних процесів замішування тіста, а також на рішення практичних задач по впровадженню у виробництво нової конструкції запатентованої тістомісильної машини.

Виконане дослідження має велике значення для розуміння особливостей вдосконалення технологічного процесу замішування тіста, а

також розробки шляхів його інтенсифікації за рахунок використання нової конструкції тістомісильної машини, що має оптимальні параметри по продуктивності і енерговитратам.

Ступінь розробленості проблеми. Питання вивчення інтенсифікації технологічного процесу механічного замішування тіста знайшли своє відображення в численних дослідженнях вітчизняних і зарубіжних авторів, серед яких виділяються наукові роботи Л.Я. Ауерман, Є.І. Верболіз, Г.О. Магомедова, А.С. Романова, В.Д. Малкіної, Л.І. Воробйової, І.М. Литовченко, І.М. Ройтер, Л.І. Пучковою, М.К. Садигова, В.Я. Черних, Н.Ю. Бикової, А.В. Артамонова, М.М. Типсина, N.Larsen, W. Bushuk, A.H. Bloksma і інші.

Питання конструктивного вдосконалення робочих органів тістомісильних машин і способів виробництва хлібобулочних виробів розглянуті в наукових роботах Л.В. Анісімовій, А.В. Зубченко, В.Н. Невзорова, Н.В. Бутіна і інших.

Вивчення наукових публікацій і окремих монографій українських і зарубіжних дослідників показало, що з питань шляхів інтенсифікації процесу механічного замішування тіста є великий розкид думок при висвітленні впливу на фізико-хімічні властивості тіста окремих робочих параметрів, а саме: контроль над температурою технологічного процесу, розміщення робочих лопатей на робочому органі і їх форма, геометрична форма діжі, частота обертання робочого органу і періодичність механічного впливу робочого органу на масу тіста, що замішується.

Комплексні питання інтенсифікації процесу замішування тіста у зв'язку із зміною реологічних властивостей тіста і основних параметрів тістомісильної машини не отримало до теперішнього часу докладного наукового освітлення ні у вітчизняних, ні в зарубіжних роботах.

Причина недостатньої уваги дослідників до комплексного рішення питання інтенсифікації процесу замішування тіста полягає у відсутності

наукових розробок нових методів приготування тіста і конструкторських проробок нових тістомісильних машин.

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

Проблеми, розв'язанню яких присвячена МКР впливають із задач у сфері науки і техніки, сформульованих у законі України №2519-VI від 09.09.2010 р. «Про внесення змін до закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки»».

Мета роботи - вдосконалення технологічного процесу замішування виробництва тіста шляхом інтенсифікації механічного впливу об'ємно-гвинтовим робочим органом тістомісильної машини.

Для реалізації мети вирішувалися наступні **завдання**:

- провести аналіз технологій і конструктивних особливостей обладнання для замішування тіста;

- розробити технологічну модель інтенсифікації технологічного процесу з необхідністю використання пропонованого об'ємно-гвинтового способу замішування тіста;

- обґрунтувати конструкцію нової тістомісильної машини і розробити методику проведення випробувань з оптимізації технологічних параметрів процесу замішування тіста;

- встановити взаємозв'язок кінематичних параметрів і режимів роботи об'ємно-гвинтового робочого органу на процес замішування тіста і дослідити вплив технологічних режимів роботи об'ємно-гвинтової тістомісильної машини на реологічні властивості тіста;

- провести техніко-економічне обґрунтування застосування тістомісильної машини з об'ємно-гвинтовим робочим органом.

Наукова новизна роботи. До наукової новизни досліджень відносяться:

1. Проведені теоретичні дослідження технологічного процесу механічного замішування тіста і обґрунтовано необхідність використання об'ємно-гвинтового способу замішування тіста.

2. Отримані математичні залежності впливу основних конструктивних параметрів дослідної експериментальної установки на реологічні показники тіста.

3. Досліджено вплив динаміки зміни якісних і виробничо-енергетичних характеристик замішування тіста на вибір оптимальної частоти обертання місильного органу, температуру рецептурних компонентів, внесених в тісто, і її підтримку в процесі замішування.

4. Розроблені математичні моделі технологічного процесу приготування тіста з об'ємно-гвинтовим робочим органом.

5. Виявлені технологічні особливості процесу замішування тіста при використанні об'ємно-гвинтового способу замішування тіста.

Теоретична і практична значущість

1. Розроблена математична модель інтенсифікації технологічного процесу замішування хлібопекарського тіста на тістомісильній машині з об'ємно гвинтовим робочим органом.

2. Розроблена конструкція нової тістомісильної машини, що дозволяє виробляти інтенсивне замішування тіста, що впливає на реологічні показники при оптимальних конструкторських і технічних характеристиках машини зі збільшенням виробничої ефективності.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є технологічний процес механічного замішування тіста, що забезпечує стандартні реологічні показники якості тіста і підвищення інтенсифікації процесу приготування тіста.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є вдосконалення технологічного процесу виробництва пшеничного тіста і розробка шляхів його інтенсифікації з використанням об'ємно-гвинтового способу замішування тіста, модернізованої конструкції нового робочого органу тістомісильної машини з розміщенням тістомісильних лопатей по гвинтовій лінії.

Методологія і методи дослідження. В основу роботи покладено теоретичні дослідження технологічних процесів замішування тіста на основі законів фізико-механічних, колоїдних і біохімічних процесів. Рівняння отриманих математичних моделей розв'язувалися наближеними або чисельними методами з використанням обчислювальної техніки. Перевірка отриманих математичних моделей проводилася шляхом порівняння існуючих результатів, з результатами досліджень виконаних на експериментальному дослідному зразку об'ємно-гвинтової тістомісильної машини Інституту продовольчих ресурсів Всеукраїнського навчально-наукового консорціуму. В окремих випадках для аналізу отриманих результатів і порівняння з раніше виконаними науковими роботами використовувалися опубліковані в відкритій пресі результати досліджень вітчизняних і зарубіжних авторів.

Ступінь достовірності та апробація результатів. Достовірність досліджень підтверджується сукупністю результатів проведених наукових досліджень, а також на основі інформаційно-патентних даних у відповідності до тематики дипломної роботи, постановкою експериментів, використанням сучасних методів аналізу, математичною обробкою результатів досліджень.

Особиста участь автора в отриманні результатів полягає у виборі напрямку дослідження, проведенні аналізу літературних джерел по проблеми дослідження, в постановці завдання, плануванні досліджень, оформленні технічної документації на винаходи, виготовленні дослідного зразка, проведення експериментальних досліджень, розробці статистичної інформації та узагальненні отриманих наукових результатів.

Структура і обсяг роботи. Робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. МКР викладена на 122 сторінках машинописного тексту. Рукопис містить 25 таблиць, 38 формул, 47 рисунків, додатки на 12 сторінках, список літератури містить 164 джерела.

1. СТАН ПИТАННЯ, ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

1.1 Аналіз та узагальнення наукових досліджень

технологічних властивостей процесу замішування тіста

Хлібопекарська промисловість України є однією з найважливіших галузей народного господарства, і темпи її розвитку в бік збільшення обсягів виробництва, розширення асортименту та поліпшення якості готової продукції безперервно ростуть.

Перед хлібопекарської промисловістю стоїть завдання підвищення конкурентоздатності вироблюваної хлібобулочної продукції за сучасними високоефективними технологіями [1, 152].

Процес приготування тіста є складною технологічною робочою операцією в хлібопекарській і кондитерській галузях. Від якості виконання даного процесу залежать основні органолептичні і фізико-хімічні показники готової продукції. Замішування тіста відбувається шляхом механічного впливу робочого органу на змішують масу, що складається з борошна, води, хлібопекарських дріжджів, солі та інших компонентів, що входять до складу рецептури виробництва, а також проходження складних колоїдних і біохімічних процесів [5, 64, 67].

Інтерес до вивчення інтенсифікації технологічного процесу механічного замішування тіста знайшов своє відображення в численних дослідженнях вітчизняних і зарубіжних авторів [78, 136, 157, 159, 160].

Наукові роботи Л.Я. Ауерман, Є.І. Верболоз [5, 13, 14], присвячені дослідженням, які доводить, що температура тіста підвищується в результаті впливу механічної енергії замішування, яка частково переходить в теплову. При роботі на тихохідних машинах значного підвищення температури тіста не відбувається. Велика кількість тепла виділяється при роботі на швидкохідних машинах, що може привести до погіршення фізичних властивостей тіста. Для усунення значного нагрівання тіста в процесі

замішування застосовуються діжі, оснащені водяною сорочкою для штучного охолодження тіста.

У науковій роботі В.Д. Малкіної [64] досліджені питання процесів, що відбуваються при замішуванні тіста, що дозволяють визначати реологічні властивості і хімічний склад тіста після інтенсивного замішування. В результаті інтенсивного замішування тіста відбувається прискорення процесу бродіння, внаслідок чого підвищується обсяг виробництва і поліпшуються органолептичні властивості готової продукції. За результатами досліджень В.Д. Малкіної розроблений спосіб виробництва хлібобулочних виробів, що дозволяє емульсію і дріжджову суспензію перемішувати протягом 3-5 хвилин, оскільки перемішування протягом меншого часу не забезпечує однорідної консистенції суміші, а збільшення тривалості обробки суміші понад 5 хв призводить до зниження активності дріжджових клітин через тривалий механічний вплив на них.

Ю.А. Болтенко [9] розробив і запропонував метод контролю реологічних властивостей пшеничного тіста шляхом обліку кількості механічної енергії, що витрачається на замішування тіста, а також встановив раціональні значення реологічних показників тіста, що дозволяє отримувати хлібобулочні вироби з поліпшеними органолептичними та фізико-хімічними властивостями.

Наукові дослідження І.М. Литовченко [60] по інтенсифікації процесу замішування і вдосконалення тістомісильних машин періодичної дії показали, що при інтенсивному замішуванні тіста необхідно прийняти оптимальний витрати енергії, оскільки при надмірній механічній обробці тісто стає липким і слабким.

Дослідження, виконані Н.Ю. Бикової, В.Я. Черних [11, 148-150] щодо вдосконалення технології виробництва хліба шляхом регулювання параметрів приготування тіста, показали технологічні рішення, що дозволяють удосконалити технологію виробництва хліба з огляду на властивості партії борошна для хліба, що переробляється. Визначено

критичні показники фізико-хімічних властивостей зерна, борошна і тіста, що дозволяють виробляти хліб стабільно високої якості.

Наукові роботи І.М. Ройтер [116-118] дозволили сформулювати нові методи контролю хлібопекарського виробництва із застосуванням сучасних технологій приготування тіста.

За даними наукових досліджень А.М. Заремба [39] по удосконаленню процесів приготування тіста в технології виробництва пшеничного хліба була розроблена нова технологія замішування тіста в кілька стадій, де на початковій стадії замішування за рахунок розпилення води відбувається змішування всіх компонентів в напівфабрикат, а на другій стадії приготування тіста, відбувається пластифікація зброджуваних напівфабрикатів, за рахунок тонкошарової прокатки, що дозволяє поліпшити якість і збільшити вихід хліба.

У наукових роботах Л.І Пучкової і ін. [113, 114] відображені теоретичні та практичні основи хлібопекарського виробництва, що дозволяють удосконалювати технологію й устаткування для проведення складних технологічних операцій при виробництві хліба і хлібобулочних виробів.

Наукові дослідження А.В. Артамонова [2, 3] з розробки інформаційно-вимірювальних систем для моніторингу динаміки замішування пшеничного тіста в тістомісильній машині періодичної дії дозволили отримати залежності між крутним моментом на приводі місильного органа і частотой його обертання, на підставі дослідження консистенції і реологічного стану тіста в процесі замішування.

У наукових роботах М.М. Тіпсіна [131-133] розглядаються питання вдосконалення технології виробництва хлібобулочних виробів з використанням рослинної сировини для розширення асортименту продукції, що випускається, а також питання оптимізації технологічних параметрів процесу замішування хлібопекарського тіста.

У науковій роботі N. Larsen [161] дано порівняльні характеристики промислового і лабораторного обладнання для приготування тіста, в яких

розглянуті питання інтенсифікації процесу приготування тіста за рахунок збільшення потужності електродвигунів і площі робочих органів.

У науковій роботі W. Bushuk [158] вивчені питання зміни реологічних властивостей пшеничного тіста в залежності від швидкості і інтенсивності хімічних процесів, що відбуваються при замішуванні тіста.

У науковій роботі А.Н. Bloksma [156] представлені результати дослідження зі зміни реологічних властивостей тіста в період механічного впливу робочого органу в процесі приготування хліба.

1.2 Існуючі технології і конструкцій обладнання для виконання робочої операції із замішування тіста

Замішування хлібобулочного тіста здійснюється за існуючими технологіями з використанням основної і додаткової сировини. Як основна сировина може використовуватися пророщене зерно, хлібопекарське борошно від вищого сорту до обдирного або оббивального, а також питна вода. До додаткової сировини відносяться дріжджі, сіль, цукор, жири і різні харчові добавки. Для використання на виробництві додаткової сировини необхідно перетворити в рідкі, проміжні напівфабрикати: розчини, емульсії або суспензії [4, 12, 22, 63, 162].

При замішуванні і бродінні хлібопекарське тісто набуває органолептичні та фізико-хімічні властивості, відповідні вироблюваної продукції які дозволяють тістовим заготовкам придбати потрібну форму, перед випічкою [10, 41, 46, 47].

Процес приготування тіста супроводжується нагріванням. Для підтримання оптимальних умов життєдіяльності мікроорганізмів температура тіста на всіх стадіях процесу повинна бути на рівні 28-32 ° С [40, 42, 114].

Технологічна схема виробництва хліба представлена на рисунку 1.1.

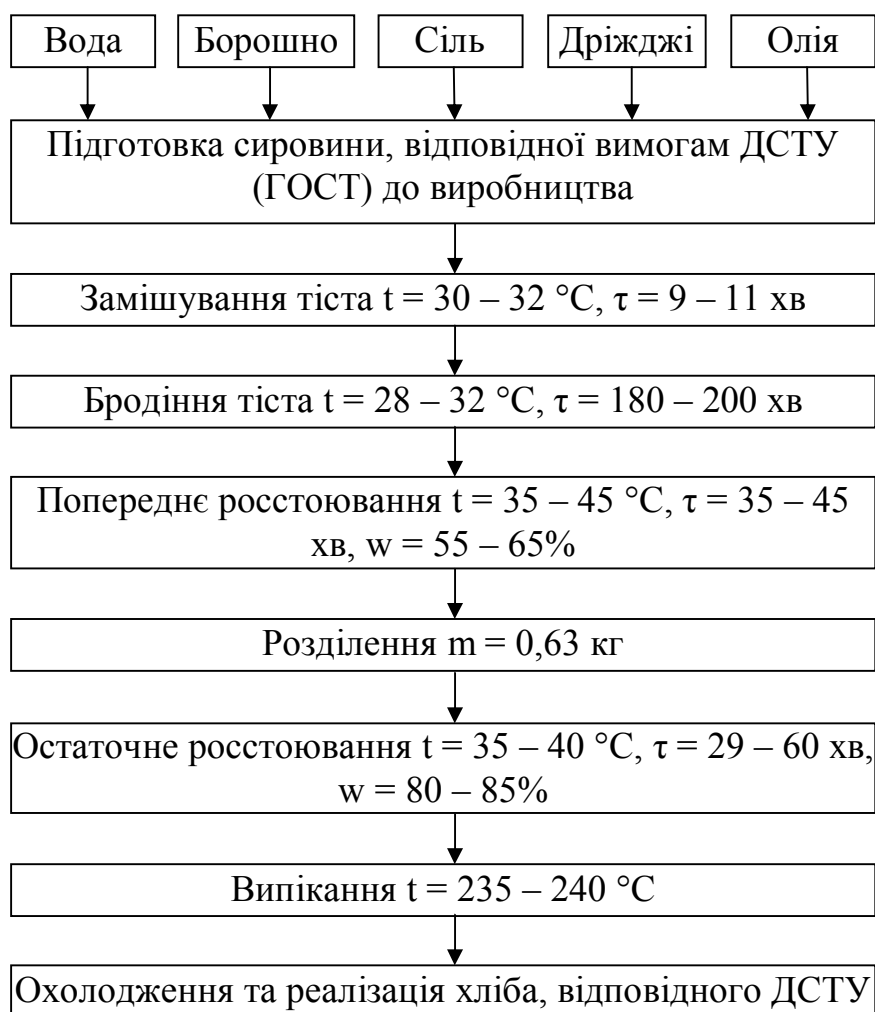


Рисунок 1.1 - Технологічна схема виробництва хліба

Процес замішування тіста - найважливіша технологічна операція, від якої в значній мірі залежить подальший хід технологічного процесу і якість хліба. При замішуванні тіста з борошна, води, дріжджів, солі та інших складових частин отримують однорідну масу з певною структурою і фізичними властивостями, щоб в подальшому при бродінні, обробленні і розстоюванні тісто добре перероблялося [5, 47, 63].

З самого початку замішування в напівфабрикатах починають відбуватися особливі процеси - фізичні, біохімічні та ін. Істотна роль у виробництві пшеничного тіста належить білковим речовинам. Нерозчинні у воді білки борошна, з'єднуючись при замішуванні з водою, набухають і утворюють клейковину. При цьому білки пов'язують воду масою, що

приблизно в два рази перевищує їх масу, причому 75% цієї води зв'язується осмотично [51, 83, 103, 104].

Набряклі білкові речовини борошна утворюють як би каркас тіста губчастої структури, що і визначає еластичність тіста. Основна частина борошна (зерна крохмалю) адсорбційно пов'язує велику кількість води. Значна кількість води поглинається також пентозанами борошна [86, 142, 155].

У тісті одночасно утворюється як рідка фаза, що складається з вільної води, водорозчинних білків, цукру та інших речовин, так і газоподібна фаза, утворена за рахунок утримання бульбашок повітря, в атмосфері якого відбувається замішування, і за рахунок бульбашок вуглекислого газу, що виділяються дріжджами. Отже, тісто являє собою полідисперсну систему, що складається з твердої, рідкої і газоподібної фаз. Від співвідношення фаз в цій полідисперсній системі залежать фізичні властивості тіста. Поряд з фізичними і колоїдними процесами в тесті під дією ферментів борошна і дріжджів проходять і біохімічні процеси [144, 154, 147].

На фізичні властивості тіста впливають протеолітичні ферменти борошна, які дезагрегують білок. Однак зіткнення тіста під час замішування з киснем повітря значно знижує дезагрегаційний вплив протеолітичних ферментів. У меншій мірі діють і амілолітичні ферменти, що розщеплюють крохмаль. Механічний вплив місильного органу на тісто, що утворюється при замішуванні, в перший період сприяє набуханню білків і утворенню губчастого каркаса клейковини, що покращує фізичні властивості тіста [17, 45, 143, 146].

Всі описані вище фізичні, колоїдні, хімічні і біохімічні процеси в тісті взаємодіють один з одним, що викликає безперервну зміну фізичних властивостей тіста в ході технологічного процесу [15, 16, 163].

Виконані наукові дослідження [11] показали, що на інтенсифікацію технологічного процесу значно впливає сорт борошна, оскільки чим вище

сорт, тим інтенсивніша повинна бути швидкість замішування, що обумовлена властивостями клейковини борошна.

На якість готової продукції в процесі замішування тіста також впливає і температура води. Дослідження [15, 16, 19, 139] показали, що при використанні для замішування води низької температури (10 – 15 °С) відбувається формування жорсткого, еластичного каркаса клейковини, і збільшення питомої роботи.

Вчені Р.В. Кузьмінський, Р.Д. Поландова, І.П. Петраш [125] розробили інтенсивну технологію без бродіння тіста в масі, із застосуванням інтенсивного замішування або посиленої механічної обробки при замішуванні, ферментативно-активних дріжджів і поліпшувачів.

Виконання основної технологічної операції при приготуванні тіста здійснюється на машинах періодичної і безперервної дії. Класифікація тістомісильних машин приведена на рисунку 1.2.

З рисунка 1.2 видно що, існуючі тістомісильні машини періодичної дії мають різні конструкції робочих органів, приводів і типів діжі. Серед тістомісильних машин періодичної дії, що здійснюють інтенсивний замішування тіста і серед яких можна виділити деякі відомі конструкції тістомісильних машин [140,141, 164].

Зокрема, тістомісильная машина Т1-ХТ2А забезпечує замішування при одночасному руху робочого органу і обертається діжі. Загальний вигляд тістомісильної машини Т1-ХТ2А наведено на рисунку 1.3.

Машина складається з фундаментної плити, на якій змонтована станина 4 з приводним валом 3, електродвигунами 5 та черв'ячними редукторами 6. Обидва кінці кожного вала черв'яка приводної головки виходять назовні. На правій стороні діжі 10 є знімний штурвал 8 для ручного виведення місильного органу з діжі, а на лівому - встановлюється клінопасовий шків з конічною расточкой фрикційної муфти. На фундаментній плиті 1 змонтовані два черв'ячних редуктора. Дежа має відкидні кришки 1 та 9. При роботі діжу накочують на поворотний стіл, центрують і фіксують за допомогою засувки.

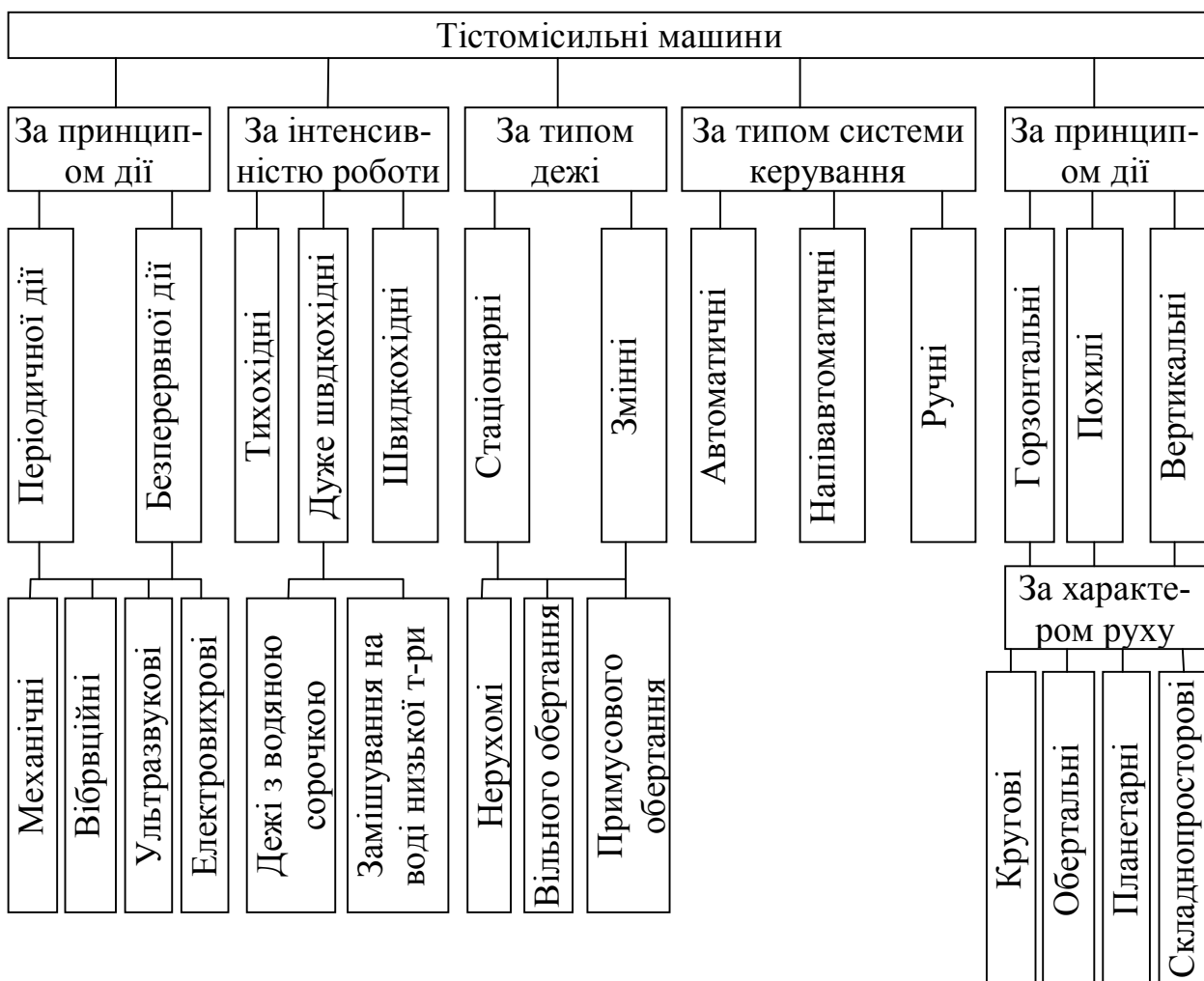


Рисунок 1.2 - Класифікація тістомісильних машин

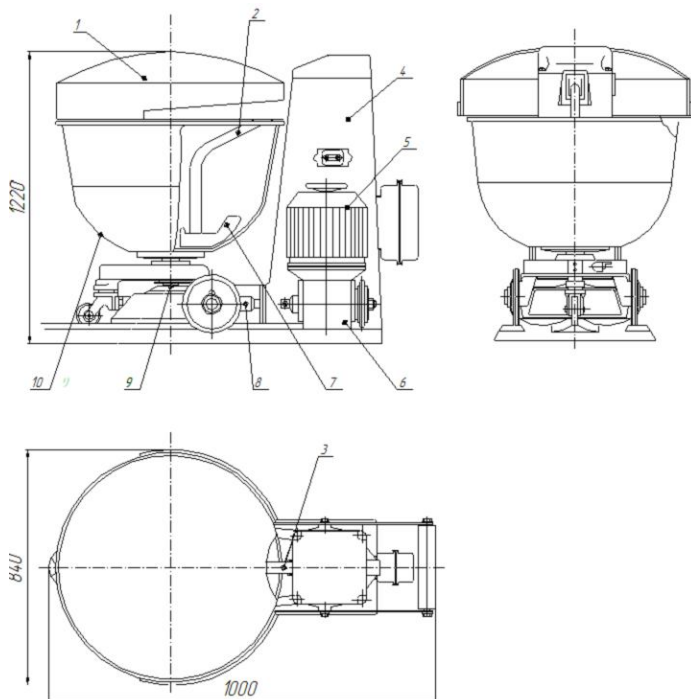


Рисунок 1.3 - Тістомісильна машина Т1-ХТ2А: 1 - відкидна кришка діжі; 2 - кронштейн; 3 - приводний вал; 4 - станина; 5 - електродвигун; 6 - редуктор; 7 - робочий орган; 8 - знімний штурвал; 9 - відкидна кришка діжі; 10 – діжа

Потім закривають кришку 1, завантажують діжу і включають привід. Після закінчення замішування кришку 1 піднімають. При цьому вимикається фрикційна муфта на валу

приводу 3 місильного органу 7 і гальмується її привід, а стіл з дежею продовжує обертатися до тих пір, поки спеціальний упор на плиті не торкнеться кінцевого вимикача, який вимикає електродвигун. При цьому дежа зупиняється в положенні, зручному для відкочування. За допомогою ножної педалі звільняють фіксатор і відкочують діжу [62, 65].

Для інтенсивного замішування пшеничного і житньо-пшеничного тіста використовується тестомесильна машина Ш2-ХТ2-І для приготування тіста прискореним способом. Загальний вигляд тістомісильної машини наведено на рисунку 1.4. Машина складається з стаціонарної місильної ємності 2 з напівциліндричним днищем, виготовленим з нержавіючої сталі.

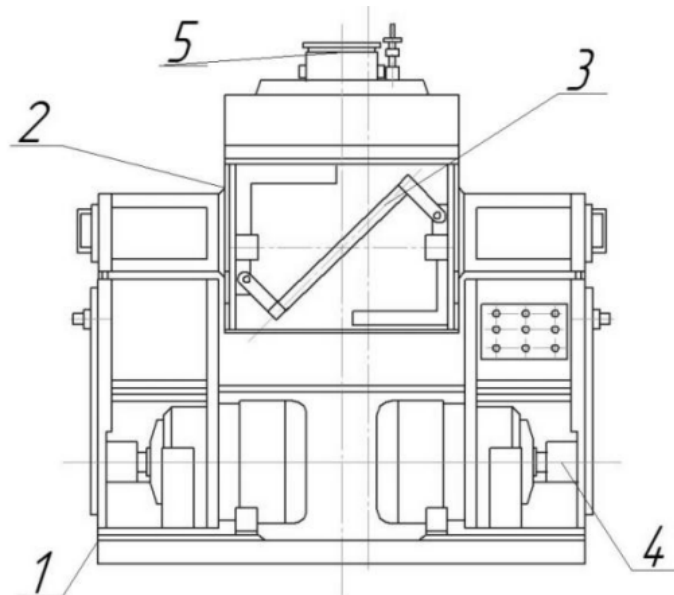


Рисунок 1.4 - Загальний вигляд тістомісильної машини Ш2-ХТ2-І: 1 - станина; 2 - місильна ємність; 3 - сполучна штанга; 4 - привод; 5 - нерухома кришка

Усередині ємності розташований місильний орган з двох хрестовин, з'єднаних між собою штангою 3. Кожна з хрестовин укріплена на окремому шлицевом валу, який розташований в опорах і поворотних цапфах. Кожна хрестовина місильного органу має самостійний привод 4. Завдяки прийнятій конфігурації місильного органу тісто в процесі замішування переміщається по складній траєкторії, в результаті чого забезпечується його інтенсивна

механічна обробка. Над місильної ємністю 2 на кронштейні закріплена нерухома кришка 5. Для забезпечення герметизації кришка і місильна ємність мають спільне лабіринтове ущільнення. Вивантаження тіста після закінчення замішування здійснюється шляхом повороту місильної ємності 2 навколо горизонтальної осі на кут 120° . В процесі замішування тіста ємність закріплюється в горизонтальному положенні фіксатором за допомогою рукоятки. Всі елементи машини змонтовані на станині 1, що складається з двох стійок і підстави. Управління роботою машини здійснюється від окремого блоку управління, змонтованого на правій стійці станини. Замішування тіста в машині здійснюється в трьох режимах руху місильного органу за заздалегідь заданою програмою в залежності від хлібопекарських властивостей борошна. Частота обертання місильного органу відповідно дорівнює 60, 90, 120 хв^{-1} . Тривалість роботи на кожній швидкості обумовлюється властивостями сировини. Сумарний час замішування на трьох швидкостях варіюється від 2,5 до 3 хв. При необхідності замішування може здійснюватись в автоматичному режимі на двох швидкостях [82, 107].

Машина базова тістомесильна типу МБТМ-140-01, з об'ємом діжі 140 л, призначена для механізації процесу замішування різних видів тіста (дріжджового, бездріжджового та ін.) в кондитерських та кулінарних цехах підприємств громадського харчування. Загальний вигляд тістомісильної машини приведений на рисунку 1.5.

Машина складається з опорної плити 16, на якій встановлено корпус 3 і електродвигун 1, що має два кінці вихідного вала. На плиту накочується блок діжі, що складається з власне діжі 10 і візка 12. Блок діжі дотягується до корпусу машини ексцентриковими гаками 15, встановленими на одній осі з педаллю 14. Через клінопасову передачу 17 обертання через черв'ячний редуктор 7 передається на місильний орган 9, а через клинопасову передачу 2, черв'ячний редуктор 4 і ролик 5 на діжу.

Спільно з черв'ячним редуктором 7 змонтована кришка 8, що утворює траверсу.

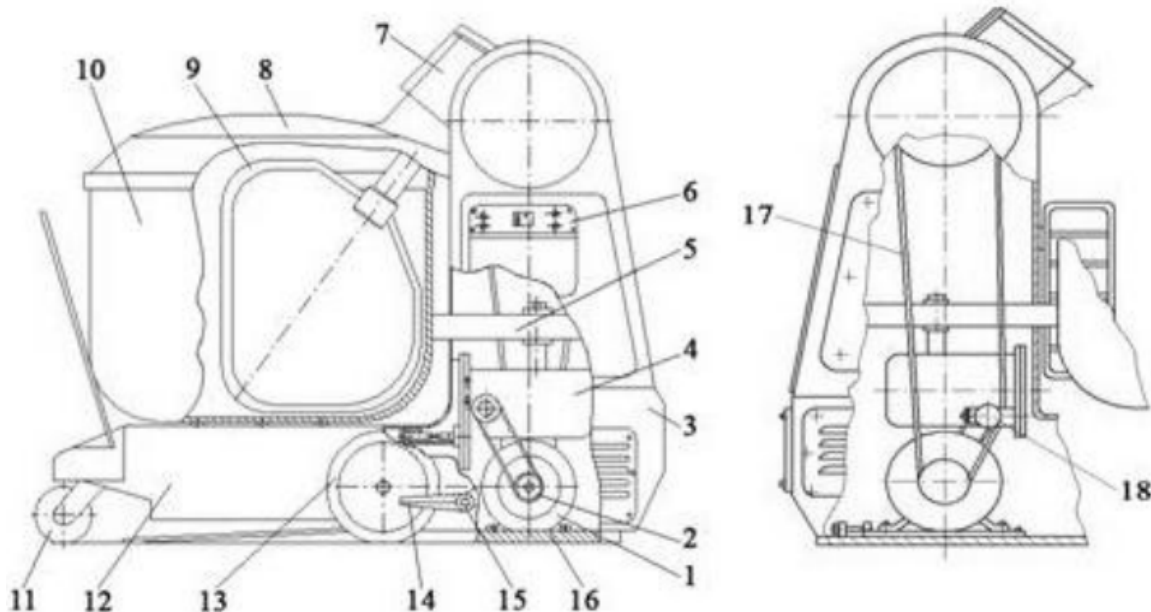


Рисунок 1.5 - Машина тістомісильна МБТМ-140-01: 1 - електродвигун; 2, 17 - клінопасові передачі; 3 - корпус; 4, 7 - черв'ячний редуктор; 5 - ролик; 6 - пост управління; 8 - кришка; 9 - місильний орган; 10 - дежа; 11 - колесо поворотне; 12 - візок; 13 - колеса неповоротні; 14 - педаль; 15 - гаки; 16 - плита опорна; 18 - ролик натяжний

Діжу, бак якої заповнений вихідними компонентами, закривають на опорну плиту і фіксують за допомогою ножної педалі. За допомогою реле часу встановлюють необхідний час перемішування компонентів. Після натискання кнопки «Пуск» траверса опускається у робочий стан і вмикається електродвигун приводу місильного органу, одночасно приводиться в обертання бак діжі [38].

Тістомісильна машина ТММ- 140 (рис. 1.6) відноситься до спіральних машин. Призначена для замішування тіста з пшеничного житнього борошна, а також з житньо-пшеничного тіста. Вологість тіста не повинна бути меншою 33%. Як ємність для тіста слугує нерухома дежа підкатна, з об'ємом 140 літрів.

У конструкцію машини входить траверса 1 для підкочування або відведення діжі 2, змонтована на загальній станині 3, електродвигун 4 і

механізм приводу 5 для роботи планетарного редуктора 6. Спиральний месильний орган 7 змонтований на валу планетарного редуктора 6. Для піднімання і опускання траверси 1 слугує електродвигун 8, привід 9 і робочий механізм 10.

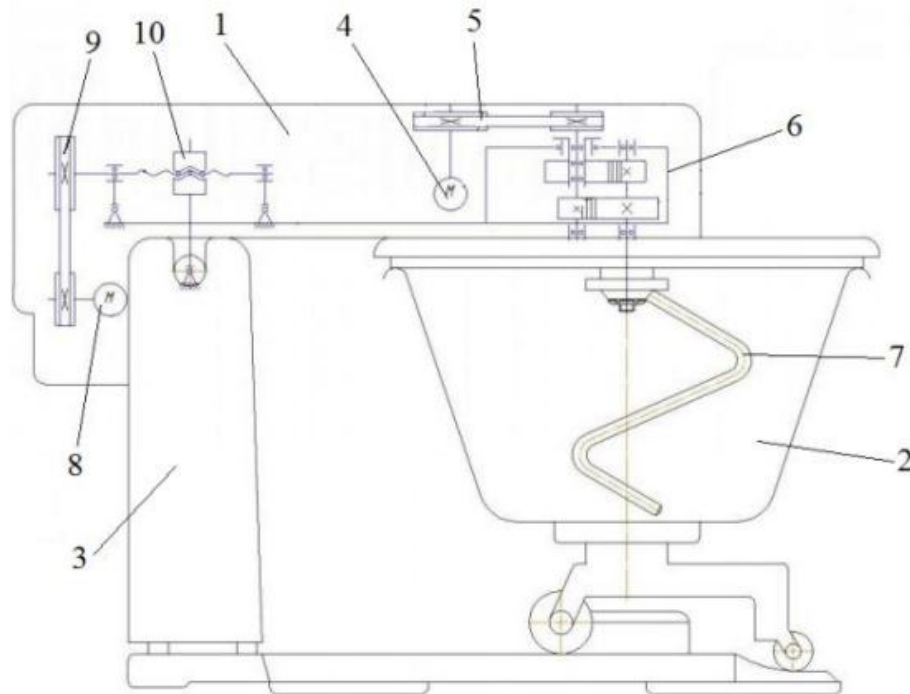


Рисунок 1.6 - Машина тістомісильна ТММ-140: 1 - рухома траверса; 2 - дежа; 3 - станина; 4 - електродвигун; 5 – механізм приводу; 6 - планетарний редуктор; 7 -спіральні робочий орган; 8 - електродвигун; 9 - привід; 10 - робочий механізм

Тестомесильная машина ТММ-140 обладнана таймером (реле часу) для відліку часу замішування тіста, але не має пристрою реверсивного обертання місильного органу [140, 141]. Спиральний місильний орган в процесі замішування тіста обертається навколо власної осі і навколо осі діжі, здійснюючи планетарний рух.

У таблиці 1.1 наведено порівняння технічних характеристик розглянутих вище тістомісильних машин. З таблиці 1.1 видно, що існуючі серійні тістомісильні машини забезпечують різний ступінь механічного впливу на

перемішувану масу, що впливає на кінцевий результат по тривалості технологічного процесу.

Таблиця 1.1 - Порівняння технічних характеристик розглянутих вище тістомісильних машин

Тістомісильна машина	Тривалість замішування, хв	Продуктивність, кг/год	Частота обертання дежі, об/хв	Частота обертання робочого органу, об/хв	Число гойдань органу за хвилину
T1-XT2A	15	625	6,46	-	24
МБТМ-140-01	10	600	-	50; 70	-
ТММ 140	6,0	550	-	52	-
Ш2-XT2-I	3,0	384	-	60; 90; 120	-
ТММ-1М	10	292	4,1	2,2	28,94

1.3 Патентні дослідження по сучасним технологічним розробкам для вдосконалення процесу замішування тіста

Патентні дослідження за темою дипломної роботи проводились на базі даних Вінницької обласної універсальної наукової бібліотеки імені К.А. Тімірязєва та наукової бібліотеки ВНАУ, з метою відстеження і аналізу технологічного процесу приготування хлібопекарського пшеничного тіста різними способами.

Хліб і хлібобулочні вироби є щоденним продуктом харчування. У зв'язку з цим постійна робота над поліпшенням якості готової продукції є найважливішим елементом «Стратегії розвитку харчової та переробної промисловості» [115], що визначає актуальність досліджень, спрямованих на пошук шляхів вирішення цих завдань. При виробництві хлібобулочних виробів використовуються різні комплекси технологічного обладнання, від роботи якого залежить підсумкова виробнича ефективність підприємства з випуску якісної готової продукції.

Найважливішим елементом технологічного процесу є тістомісильна машина, від механічної роботи якої залежить не тільки якість виконання подальших операцій, але і якість готової продукції. У хлібопекарській промисловості здійснюється застосування різних конструкцій тістомісильних машин і пристроїв, що дозволяють виробляти замішування тіста періодичним або безперервним способом.

Проведені патентні дослідження дозволили виділити напрямки для аналізу по системі міжнародної класифікації МПК, схема якого приведена на рисунку 1.8.

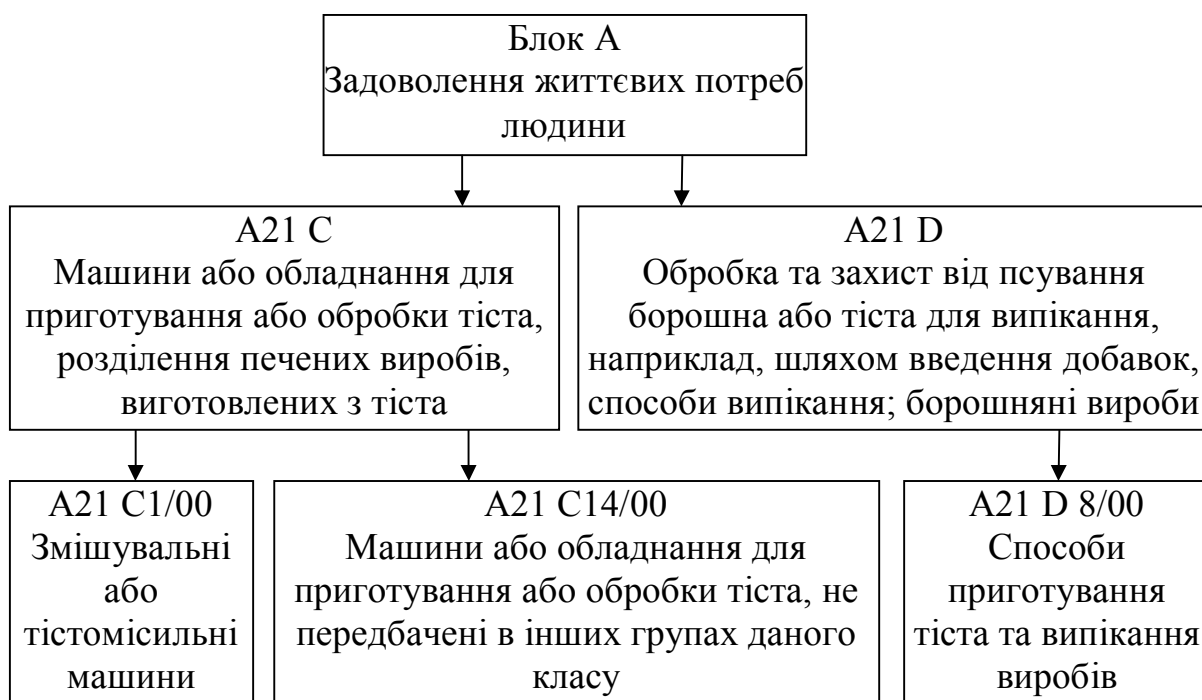


Рисунок 1.8 - Схема проведення аналізу по системі міжнародної класифікації МПК

На предмет способів замішування тіста і існуючих розробок конструкцій обладнання для здійснення технологічного процесу замішування тіста проаналізовані винаходи і корисні моделі.

Зокрема, це «Спосіб замішування тіста» автора Акульчева С.Н., що передбачає змішування компонентів і замішування тіста за рецептурою з насиченням його повітрям, шляхом подачі стисненого повітря в ємність з

тестом, що дозволяє забезпечити рівномірний розподіл компонентів тіста і, отже, якість випечених з нього виробів, збільшивши при цьому термін придатності [97].

«Спосіб приготування бездріжджового тіста для випічки хлібобулочних виробів і тістоміс для його здійснення» авторів Арсланова Т.А., Меджидова З.М.. Спосіб передбачає дозування в герметичний чан місильної ємності основної і допоміжної сировини, їх замішування в середовищі діоксиду вуглецю, що нагнітається в чан під тиском, вивантаження тіста. Також в чан з сировиною подають воду, попередньо газовану діоксидом вуглецю, призначену для розпушення тіста. Причому подача газованої води здійснюється після нагнітання в чан діоксиду вуглецю. Замішування в місильної ємності здійснюється під тиском 4-5 атм. Тістоміс для приготування дріжджового тіста включає герметизовану місильну ємність з кришкою, механізм привода робочого органу, систему підготовки води. Кришка місильної ємності закріплена нерухомо. Стінка місильної ємності виконана з можливістю підніматися і опускатися уздовж циліндричної напрямної за допомогою механізму привода. До кришки місильної ємності підведені трубопроводи для подачі газованої води і діоксиду вуглецю і встановлений патрубок для відведення з місильної ємності газу. Система підготовки води включає балон з діоксидом вуглецю, з'єднаний з газіровочною камерою трубопроводом, оснащеним запірним краном. Винахід дозволяє підвищити якість хлібобулочних виробів, розширити асортимент дієтичних хлібобулочних виробів, скоротити виробничі площі і тривалість процесу виробництва [101].

В ще одній тістомісильній машині розробки Самойлова В.А. та Ярума А.І. змішування тіста відбувається за рахунок обертання місильного органу, на якому розташовані під кутом 60° три пари місильних лопатей однакової довжини. У місильні лопаті по внутрішньому отвору валу надходять рідкі інгредієнти і вода, що рівномірно розподіляються по всьому об'єму діжі, тим самим забезпечується якісне перемішування тіста при замішуванні і

збільшується продуктивність. Місильні лопаті на валу встановлені під кутом 60° і мають пази зі зворотного боку їх руху, які не може заліпити тісто, тому з отворів в пазах вільно витікає рідина і рівномірно розподіляється при замішуванні, прискорюючи процес отримання однорідної маси тіста з необхідними фізичними властивостями. Крім цього, забезпечується якісне перемішування тіста при замішуванні зі збільшенням продуктивності [100].

Спосіб приготування тіста для хліба і булочних виробів авторів Мазура П.Я., Магомедова Г.О., Виставкіна А.А. здійснюється шляхом замішування тіста з внесенням рецептурних компонентів - борошна, дріжджів, солі та води. Перед замішуванням тіста воду активують, попередньо заморожуючи її до отримання льоду з подальшим відтаюванням в термостаті при температурі 60°C . Потім воду охолоджують до температури 30°C і здійснюють замішування тіста. З внесенням цієї активованої води якісні показники тіста різко покращуються в порівнянні з контрольним зразком, що дозволяє уникнути використання дорогих покращувачів. Застосування талої води дозволяє скоротити процес приготування тіста, що дуже вигідно для підприємств [99].

Спосіб виробництва хлібобулочних виробів (автори Малкіна В.Д., Захаров С.В.) полягає в підвищенні вітамінної, мінеральної і біологічної цінності готових хлібобулочних виробів, а також стабілізації хімічного складу за рахунок введення біологічно активної добавки. При виробництві хлібобулочних виробів спочатку готують суспензію перемішуючи пресовані дріжджі, біологічно активну добавку, частину пшеничного борошна і воду. Після цього суспензію витримують протягом 40 - 45 хвилин. Потім вводять в неї раніше підготовлену емульсію, яку готують перемішуванням моногліцеріда жирної кислоти або ефіру жирної кислоти і моногліцериду жирної кислоти з водою. Далі проводять змішування суспензії з емульсією в продовж 3-5 хвилин до отримання однорідної маси. Потім вносять сіль, частину борошна пшеничного, що лишилась і воду, взяту в кількості, необхідній для приготування тіста. Перемішують всі компоненти до

утворення тіста. При приготуванні емульсії воду використовують з температурою 46 - 48 ° С [96].

Спосіб виробництва хліба з пшеничного борошна авторів Кабірова Ш. М., Власова З.Г., Михайлова В.С., Терегулова Р.В. включає замішування тіста із пшеничного борошна, цукру, дріжджів, харчової солі і води. Тісто вибирають, розділюють на тістові заготовки, піддають розстоюванню і випікають. Як цукровомісткий компонент використовують вистиглу оцукровану заварку з пшеничного борошна, білого солоду і хмелевого концентрату. При цьому приготування заварки здійснюють при температурі води 80 - 85°С. Замишування здійснюють в інтенсивному режимі з частотою обертання тістомісильного механізму 39 об / хв. В кінці замишування в тісто вводять сорбінову кислоту в кількості 0,1 - 0,3% від рецептурної кількості борошна. При цьому забезпечується здешевлення вихідної сировини, підвищуються біологічна цінність і смакові якості одержуваного хліба, знижується його калорійність [98].

В результаті виконаних досліджень вивчена можливість інтенсифікації процесу замишування пшеничного хлібопекарського тіста на тістомісильних машинах періодичної дії з об'ємно-гвинтовим робочим органом.

Патентні дослідження показали наявність інноваційних розробок у виробництві хліба і хлібобулочних виробів [102].

У Вінницькому національному аграрному університеті виконані дослідження щодо вдосконалення технології та конструкції тістомісильних машин [36, 79, 80]. Результати досліджень показали, що для інтенсифікації процесу замишування тіста, необхідно модернізувати робочий орган, що забезпечує зниження енерговитрат і підвищення продуктивності за рахунок реалізації об'ємно-гвинтової схеми перемішування [72, 87, 122].

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАМІШУВАННЯ ТІСТА ТА РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТІСТОМІСИЛЬНОЇ МАШИНИ З ОБ'ЄМНО-ГВИНТОВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

2.1 Теоретичні передумови інтенсифікації технологічного процесу замішування при використанні об'ємно-гвинтового способу приготування тіста

На підставі теоретичних передумов для забезпечення підвищення інтенсифікації технологічних процесів замішування тіста був розроблений новий об'ємно-гвинтовий спосіб впливу робочого органу масу, що замішується. Для обґрунтування нового способу враховувався і узагальнювався досвід роботи сучасних тістомісильних машин, і на підставі цього була розроблена нова принципова схема роботи тістомісильного органу, наведена на рисунку 2.1

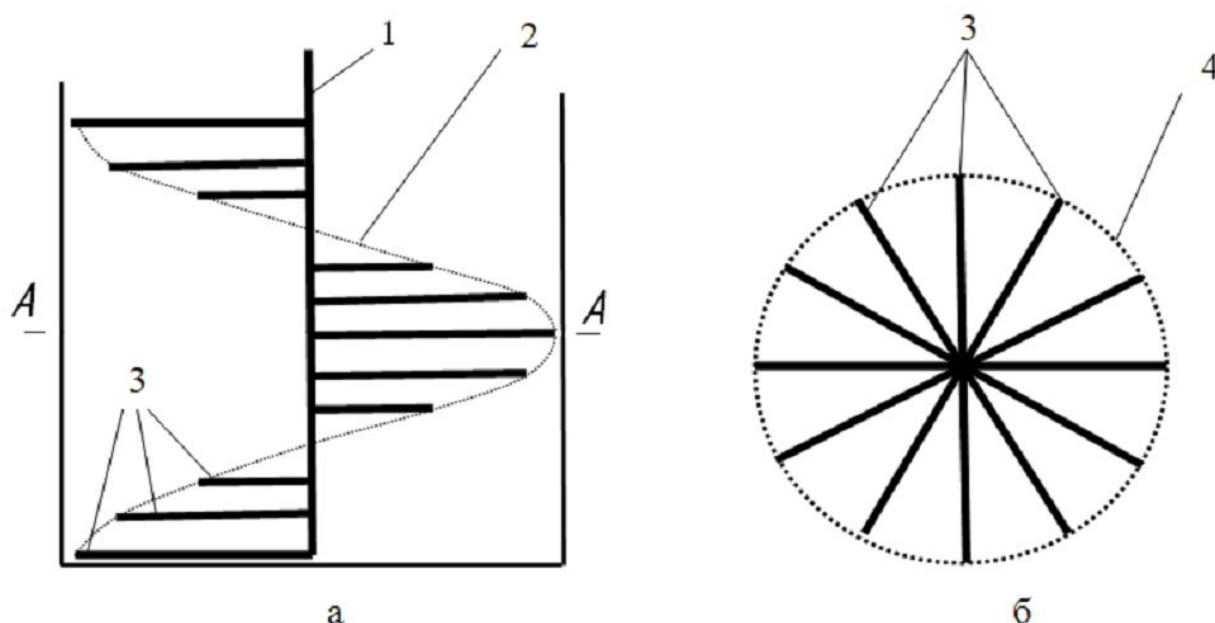


Рисунок 2.1 Принципова схема роботи тістомісильного органу: а - схема установки робочих лопатей по гвинтовій лінії; б - розріз А-А; 1 - вертикальний робочий вал; 2 - теоретична гвинтова лінія; 3 - тістомісильні лопаті рівної довжини; 4 - теоретична кругова траєкторія лопатей

Робота об'ємно-гвинтового робочого органу здійснюється шляхом забезпечення руху маси, що замішється по теоретичній гвинтовій лінії 2, при одночасному об'ємному замішуванні маси між рівними за довжиною робочими лопатями 3, які здійснюють круговий рух по теоретичній круговій лінії 4, на відстані між нижньою та верхньою лопатями 3 по валу 1.

На основі теоретичних припущень була розроблена робоча схема тістомісильного органу з використанням об'ємно-гвинтового способу замішування, приведена на рисунку 2.2.

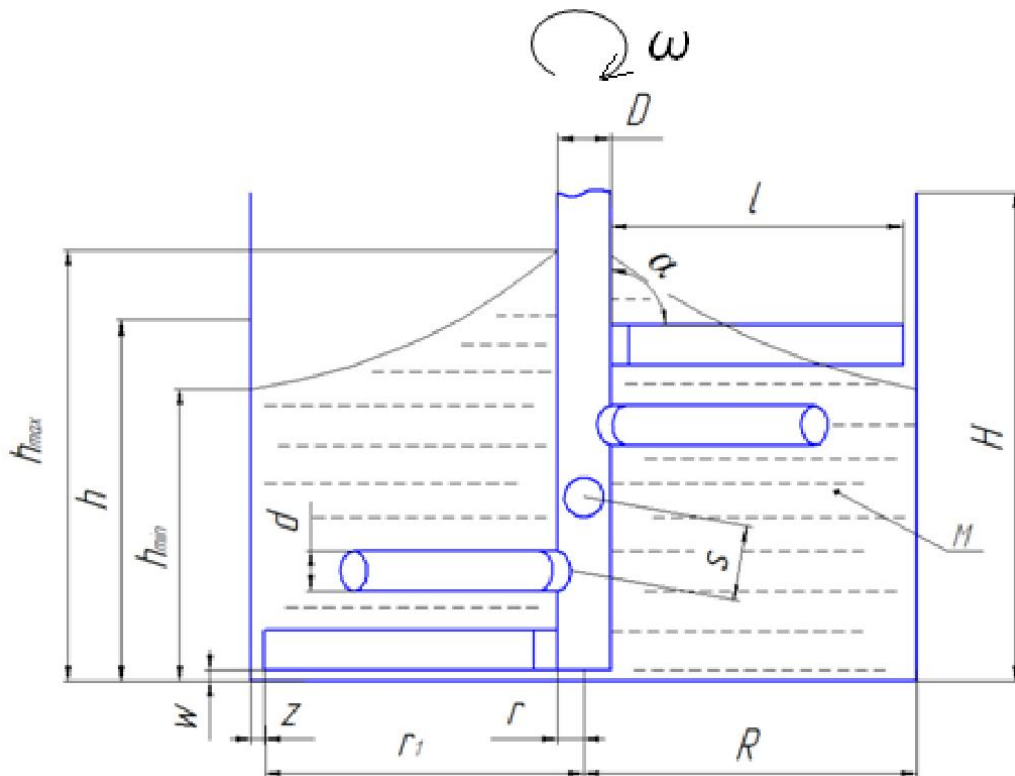


Рисунок 2.2 - Робоча схема тістомісильного органу: D - діаметр місильного валу; l - довжина тістомісильної лопаті; S - крок установки лопатей на місильном валу; d - діаметр лопаті; H - висота діжі; R - радіус діжі; h_{max} - максимальна висота маси, що перемішується в апараті; h - рівень маси, що перемішується в спокійному стані; h_{min} - мінімальна висота маси, що перемішується в апараті; M - маса, що перемішується; α - кут атаки лопаті по відношенню до вертикального валу; r , r_1 - радіус обертання тістомісильної лопаті від центру обертання; z - зазор між торцем тістомісильної лопаті і корпусом; w - зазор між нижньою кромкою тістомісильної лопаті і корпусом

В існуючих конструкціях тістомісильних машин замішування тіста відбувається в результаті механічного впливу робочим органом на масу, що перемішується. Залежно від конструкції приводу робочі органи здійснюють обертальні або складні коливальні рухи, при обертанні діжі витрачаючи різну кількість енергії [52, 82]. Для визначення балансу енергії, що витрачається, необхідної для замішування тіста з обертальним рухом місильної лопаті, використовується рівняння

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4, \quad (2.1)$$

де A - робота, що витрачається на один цикл місильної лопаті, Дж / об;
 A_1 - робота, що витрачається на замішування маси, Дж; A_2 - робота, що витрачається на переміщення лопатей, Дж; A_3 - робота, що витрачається на нагрів тіста і дотичних з ним металевих частин машини, Дж / об; A_4 - робота, що витрачається на зміну структури тіста, Дж / об.

У теоретичних передумовах розробки інтенсифікації процесу замішування тіста, з використанням об'ємно-гвинтового способу, дане рівняння використовується як основа для виконання розробки теорії ведення процесу.

За один оборот місильної лопаті діаметром d і довжиною l від центру обертання маса M переміщається по колу

$$dM = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d (1 - k) \cos (90 - \alpha) l \cdot d, \quad (2.2)$$

і в осьовому напрямку

$$dM_1 = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot \rho \cdot d \cos (90 - \alpha) l \cdot d, \quad (2.3)$$

де π - математична константа, що дорівнює відношенню довжини кола до довжині його діаметра; k - коефіцієнт подачі тіста; ρ - густина тіста, кг / м³.

Маса dM переміщається по колу зі швидкістю $V = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot n$, а маса dM_1 - в

осьовому напрямку із середньою швидкістю $V_1 = S \cdot n$.

Елементарну роботу змішування, рівну кінетичній енергії, яку елементарна площа тістомісильної лопаті передає масі тіста, можна визначити за рівнянням

$$dA = \frac{(dMV^2)}{2} + \frac{(dM_1V_1^2)}{2}. \quad (2.4)$$

Робота перемішування, що здійснюється всією поверхнею тістомісильних лопатей, визначається за рівнянням

$$A_1 = nb\Pi\rho \cos(90 - \alpha) (r_1^2 - r^2) \left[(1 - k)\Pi^2(r^2 + r_1^2) + \frac{(kS^2)}{2} \right], \quad (2.5)$$

де - n- число місильних лопатей, шт.; b - діаметр місильної лопаті, м; r_1 - найбільший радіус кола, описуваної лопатою, м; r - найменший радіус кола, описаного лопатою, м; k - коефіцієнт подачі тіста, що показує, яка частка маси тіста, захопленої лопатою, переміщується в осьовому напрямку; S - крок установки лопатей, м; Π – продуктивність тістомісильної машини, кг / год; ρ - густина тіста, кг / м³.

Визначимо продуктивність тістомісильної машини (кг / год), з рівняння

$$\Pi = \frac{\Pi_{\text{п}} \cdot (100 + Y) \cdot K_0}{100}, \quad (2.6)$$

де $\Pi_{\text{п}}$ - продуктивність печі по гарячих виробках, кг / год; Y - упік, %; K_0 коефіцієнт, що враховує можливі зупинки машини на регулювання та очищення ($K_0 = 1,2..1,3$) [49].

Після розрахунку роботи A_1 , яка виконується за один оберт вала, тобто за час $t = 1 / n$, що витрачається на переміщення маси компонентів в діжі, визначається робота, що витрачається на обертання маси місильних лопаток - A_2 , для чого необхідно для елементарної маси однієї тістомісильної лопаті ввести додатково рівняння

$$dM_{\text{л}} = \delta\rho_{\text{л}}d,$$

а також залежність для розрахунку лінійної швидкості її обертання

$$V = 2 \cdot \pi \cdot l. \quad (2.8)$$

Підставивши отримані вирази в диференціальне рівняння роботи для A_2 місильних лопатей і проінтегрував його в межах $r - r_1$, отримуємо рівняння

$$A_2 = \frac{2}{3} dn \Pi^2 \rho_{\text{л}} v^2 (r_1^3 - r^3), \quad (2.9)$$

де $\rho_{\text{л}}$ - густина матеріалу місильної лопаті, $\text{кг} / \text{м}^3$; v - частота обертання робочого органу, хв^{-1} .

Робота, що витрачається на нагрівання тіста і металоконструкції тістомісильної машини за один оберт однієї місильної лопаті, визначається з рівняння

$$A_3 = \frac{t_1 - t_2}{n \tau_3 (m_T c_T + m_M c_M)}, \quad (2.10)$$

де m_T - маса тіста, що знаходиться в місильній ємності, кг ; m_M - маса металоконструкції машини, що прогрівається при замішуванні, кг ; c_T , c_M - середня теплоємність тіста і металу, $\text{Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$; t_1 , t_2 - температури тіста відповідно на початку та наприкінці процесу замішування, $^{\circ}\text{C}$; τ_3 - тривалість замішування, с .

Оскільки структурні зміни в масі тіста залежать від інтенсивності замішування і пропорційні роботі перемішування A_1 , то робота A_4 визначається за рівнянням

$$A_4 = (0,05 - 0,1) A_1. \quad (2.11)$$

Після визначення складових балансу енерговитрат за один цикл місильної лопаті визначаються сумарні енерговитрати.

Потужність приводу електродвигуна

$$N_e = A_n / \eta_1 \cdot \eta_2, \quad (2.12)$$

де η_1 - ККД основних механізмів тістомісильної машини, η_2 - ККД проміжних механізмів (редуктор, варіатор), при їх відсутності $\eta_2 = 1$.

Фактична питома робота визначається за рівнянням

$$A_{\text{уд}} = N_e \eta_1 \cdot \eta_2 \tau / m. \quad (2.13)$$

Інтенсивність замішування, $\text{Вт} / \text{г}$

$$U = N_e / m. \quad (2.14)$$

Місткість місильної камери (m^3) визначається за формулою

$$V_H = \Pi_M (\tau + \tau_B) / 3600 \cdot \rho \cdot k_2, \quad (2.15)$$

де τ_B - тривалість допоміжних операцій, с; k_2 - коефіцієнт заповнення місильної камери, $k_2 = 0,4 \dots 0,5$.

При виконанні перевірного розрахунку продуктивність тістомісильної машини (кг / год) за відомою місткістю діжі визначається з формулі [88, 140]

$$\Pi_T = 3600 \cdot V \cdot \rho \cdot k_2 / (\tau + \tau_B). \quad (2.16)$$

2.2 Дослідження впливу технологічних параметрів замішування тіста при об'ємно-гвинтовому способі на конструктивно-технологічні параметри діжі

Щоб виключити викид маси, що замішують, визначається її рівень у спокійному стані h (м), за формулою [82, 140, 141]

$$h = V / \pi \cdot R^2, \quad (2.17)$$

де V - об'єм маси, що перемішується, m^3 ; R - радіус діжі, м.

Гранична кутова швидкість обертання лопаті $\omega_{нв}$ (рад / с), при замішуванні

тіста в ємності розмірами R і H до рівня h_{max} , не відбудеться викиду тіста дорівнює

$$\omega_{нв} < (2/R_{ап}) \sqrt{g(H - h)}. \quad (2.18)$$

Гранична кутова швидкість обертання лопаті ω_0 (рад / с), при якій буде виконана умова необнаження дна апарату

$$\omega_0 = 2\sqrt{h/R_{ап}}. \quad (2.19)$$

Визначивши $\omega_{нв}$, $\omega_{нл}$ і ω_0 , вибираємо $\omega_{раб}$ (рад / с).

Максимальна висота маси, що замішується в апараті h_{max} (м), визначається за формулою

$$h_{max} = h + (\omega_{раб}^2 R_{ап}^2 / 4g). \quad (2.20)$$

Тоді висота апарату H (м)

$$H = h_{\max} + K, \quad (2.21)$$

де K - деякий запас висоти, м.

Мінімальна висота в апараті h_{\min} (м), при якій процес буде протікати нормально, дорівнює

$$h_{\min} = h - (\omega_{\text{раб}}^2 R_{\text{ан}}^2 / 4g). \quad (2.22)$$

Для того щоб верхній край лопаті не опинився вище рівня воронки, нижній рівень h_{\min} воронки в центрі повинен бути вище площини верхнього краю лопаті h_1

$$h_{\min} > h_1. \quad (2.23)$$

Таким чином, при проектуванні тістомісильних машин, для реалізації згідно вимог технологічного процесу замішування тіста, необхідно забезпечувати висоту робочої зони додаткової резервної висотою h_p , рівній

$$h_p = H - h_{\min}. \quad (2.24)$$

Введення в конструкцію додаткової резервної висоти h_p збільшує обсяг діжі на величину V_p , яка визначається за формулою

$$V_p = \pi \cdot R^2 \cdot H, \quad (2.25)$$

де R - радіус підстави проектованої діжі, м; H - висота діжі, м; π - математична константа.

Таким чином, реалізація об'ємно-гвинтового методу замішування тіста і розташування робочих лопатей з теоретичної гвинтчастої лінії забезпечують зміну конструктивних параметрів в сторону зменшення.

2.3 Визначення впливу основних параметрів процесу замішування тіста на якісні показники готової продукції

При проведенні експериментальних досліджень використовується основна і додаткова сировина, що відповідає вимогам якості відповідних нормативних документів [30, 106, 111, 123]:

- борошно житнє хлібопекарське згідно ДСТУ 7045-2006 [20];
- борошно пшеничне вищого гатунку згідно з ДСТУ 52189-2003 [26];
- вода питна згідно ТУ 2.1.4.1074-01;

- сіль кухонна - ДСТУ 51574-2000 [29];
- дріжджі хлібопекарські пресовані - ДСТУ 54731-2011 [21];
- олія соняшникова - ДСТУ 1129-2013 [24].

Борошно хлібопекарське оцінюють за органолептичними і фізико-хімічними показниками. Відсоток вологості борошна визначається згідно ГОСТ 9404-88 [25], визначення кількості і якості клейковини проводиться відповідно до ДСТУ 27839-2013 [27], кількість сирової клейковини визначається методом відмивання клейковини вручну, а якість сирової клейковини визначається за методом розтяжності клейковини - шляхом розтягування отритої проби клейковини вручну над масштабною лінійкою з виразом результату в (см) [55, 124, 128, 137].

Далі необхідно провести продуктовий розрахунок основної і додаткової сировини, необхідної для замішування. Для цього, визначають кількість борошна, солі і пресованих дріжджів, відповідно до рецептури, необхідну кількість води, що йде на замішування розраховують за формулою [126, 127, 132]

$$G_B = G_c(W_t - W_c) / (100 - W_t), \quad (2.26)$$

де G_c - сумарна маса сировини, що витрачається для приготування тіста (без води), г; W_t - вологість тіста, %; W_c - середньозважена вологість сировини, %.

Середньозважена вологість сировини, визначається за формулою

$$W_c = (G_M \cdot W_M + G_{\text{солі}} \cdot W_{\text{солі}} + G_d \cdot W_d) / G_c, \quad (2.27)$$

де G_M , $G_{\text{солі}}$, G_d - кількість борошна, солі, дріжджів, які витрачаються на приготування тіста, г; W_M , $W_{\text{солі}}$, W_d - вологість борошна, солі, дріжджів, %; G_c - загальна кількість сировини, в тісті, г.

Температура води для замішування тіста визначається за формулою

$$T_B = t_M + (G_M \cdot C_M \cdot (t_T - t_M) / C_B \cdot G_B + K), \quad (2.28)$$

де t_T - задана температура тіста, °С; C_M - теплоємність борошна, кДж / кг К; C_B - теплоємність води, кДж / кг К; G_M - кількість борошна, г; t_M - температура борошна, °С; G_B - кількість води, г; K - поправочний коефіцієнт.

Після закінчення замішування проводиться перевірка тіста на кислотність згідно ГОСТ 5670-96 [33].

Перевірку тестових заготовок на кислотність визначають арбітражним способом за методикою титрованої кислотності за формулою

$$X = V \cdot V_1 \cdot \alpha \cdot K / 10 \cdot m \cdot V_2, \quad (2.29)$$

де V - об'єм розчину молярної концентрації 0,1 моль / дм³ гідроксиду натрію або гідроксиду калію, витраченого при титруванні досліджуваного розчину, см³; V_1 - об'єм дистильованої води, взятої для вилучення кислот з досліджуваної продукції, см³; α - коефіцієнт перерахунку на 100 г навішування; K - поправочний коефіцієнт приведення використовуваного розчину гідрооксиду натрію або гідроксиду калію до розчину точної молярної концентрації 0,1 моль / дм³; 10 - коефіцієнт приведення розчину гідроксиду натрію або гідроксиду калію молярної концентрації 0,1 моль / дм³ до 1,0 моль / дм³; M - маса навішування; V_2 - об'єм досліджуваного розчину, взятого для титрування, см.

Після перевірки кислотності тісто перевіряється на відповідність реологічним показникам. До реологічних показників тіста відносяться [89, 91]:

- стан поверхні;
- ступінь підйому;
- консистенція (слабка, міцна, нормальна) і проміс;
- ступінь вологості;
- смак, колір, запах.

При перевірці якості випеченого хліба визначається маса, об'єм фірмових проб хліба, питомий об'єм і проводиться перевірка фізико-хімічних показників готової продукції.

Визначення маси хліба. Кожна проба зважується з точністю до ± 1 грама на вагах типу SW-02.

Вимірювання об'єму хліба. Об'єм хліба вимірюється за допомогою спеціального приладу (об'ємомірнику), який працює за принципом

витіснення хлібом об'єму сипучого заповнювача – проса. Хліб, поміщається в ємність пристосування для визначення об'єму, засипається зерном проса з піднесенням гірки над ємністю. Далі шляхом згрібання ребром лінійки по краю ємності, видаляється надлишок зерна. Зерно, що залишилось з ємності засипається в мірний циліндр для вимірювання об'єму хліба.

Об'єм зерна в циліндрі в (мл) дорівнює об'єму випробуваної проби хліба.

Питомий об'єм хліба (см³ / г), визначається за формулою

$$Y_{об} = V / m, \quad (2.30)$$

де V - випробуваний об'єм хліба, см³; m - маса хліба, г.

Пористість - це відношення об'єму пір м'якушки до загального обсягу хлібної м'якушки, виражене у відсотках.

Визначення пористості проводиться згідно ГОСТ 5669-96 [32], з використанням пробника Журавльова.

Розрахунок пористості здійснюється за формулою

$$P = (V - m / \rho) \cdot 100 / V, \quad (2.31)$$

де V - загальний об'єм вилучень хліба, см³; m - маса виїмок, г; ρ – густина безпористої маси м'якушки для хліба з пшеничного борошна вищого гатунку $\rho = 1,31$ г / см³.

Вологість м'якушки хліба визначається за допомогою висушування навішувачів масою по 5 г протягом 3 хв в сухоповітряній шафі [31]

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Для доказу теоретичних розробок і перевірки висунутої гіпотези використання об'ємно-гвинтового способу перемішування була розроблена програма експериментальних досліджень, загальна схема якої приведена на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 - Алгоритм експериментальних досліджень

Як об'єкт дослідження було взято технологічний процес замішування тіста на тістомісильній машині [94].

3.2 Вимірювальна апаратура та прилади для визначення основних параметрів процесу приготування тіста

Виробничий процес починається з підготовки основної та додаткової сировини. При підготовці здійснюється контроль температури використаної сировини. Для контролю температури вихідної сировини використовується вимірювач температури IT-5 «Терміт» [121], загальний вигляд якого представлений на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 - Загальний вигляд приладу IT-5 «Терміт»

Для контролю температури замішуваної маси в процесі замішування тіста використовувався електронний контрольно-вимірювальний прилад фірми «ОВЕН» ТРМ-1 з датчиком температури РТ-100, що працюють на основі вимірів електричного опору платини [120]. Загальний вигляд контрольно-вимірювального приладу ТРМ-1 приведений на рисунку 3.3

Для контролю температурного режиму навколишнього повітря всередині місильної камери застосовувався термометр БТ-3, загальний вигляд якого наведено на рисунку 3.4.

Спостереження за температурою всередині місильної камери показали, що значної зміни в температурі не відбувається.



Рисунок 3.3 - Загальний вигляд контрольно-вимірювального приладу ТРМ-1



Рисунок 3.4 - Загальний вигляд термометра БТ-3

В процес експерименту використовувалися ваги, лабораторні, електронні CAS MWP-300 (рис. 3.5) з точністю зважування до 0,01 г, а також ваги, електронні CAS SW 1/5 (рис. 3.6) з точністю зважування до 2 г.



Рисунок 3.5 - Ваги лабораторні електронні серії СТ-600 РЄ



Рисунок 3.6 - Ваги електронні CAS SW 1/5

Для визначення пористості використовується пробник Журавльова, загальний вид якого приведений на рисунку 3.7.

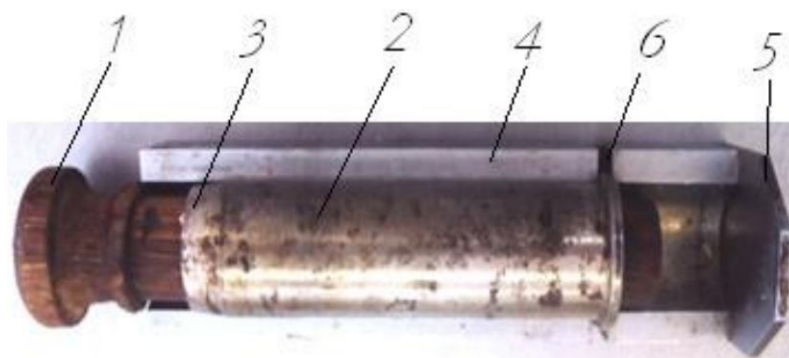


Рисунок 3.7 - Загальний вигляд пробника Журавльова: 1 - дерев'яна втулка; 2 - металевий циліндр; 3 - загострений край циліндра; 4- металевий лоток; 5 - стінка; 6 – проріз

З середини випечених експериментальних зразків, відібраних за ГОСТ 5667 вирізаються шматки шириною 8 см. Далі зі шматка м'якушки на відстані 2 см від кірок гострим краєм 3 циліндра 4 робиться виїмка. Заповнений м'якушем циліндр 3 з внутрішнім діаметром 3,8 см укладається в паз 6 лотка 4, і виштовхує м'якуш з циліндра 3 дерев'яною втулкою 1 приблизно на 1 см, який зрізається по краю циліндра 3 гострим ножем. М'якуш, що залишився в

циліндрі 3 виштовхується втулкою 1 до стінки 5 лотка 4 і також обрізається по краю циліндра. З кожної партії одночасно зважується по три виїмки.

Зміна частоти обертання електродвигуна регулювалася за допомогою векторного частотного перетворювача Веспер Е2-8300 [119]. Загальний вид представлений на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 - Векторний частотний перетворювач Веспер Е2-8300

Електровимірвальним приладам, основна похибка яких нормується у вигляді наведеної або відносної, присвоюються класи точності. Відповідно до ГОСТ 8.401-80 [35], нормується граничне значення інструментальної похибки засобу вимірювання, з довірчою ймовірністю $\alpha = 1$, при нормальних умовах експлуатації. Межі основної похибки засобів вимірювань встановлюються у вигляді абсолютних $\Delta_{\text{и}}$, наведених γ або відносних $\epsilon_{\text{и}}$ похибок, або у вигляді певного числа ділення [6, 43].

Абсолютна похибка засобу вимірювання виражається

$$\Delta_{\text{и}} = \alpha, \quad (3.1)$$

де α - постійна величина.

Абсолютна похибка обчислюється з формули

$$\Delta_i = \gamma \cdot x_{\text{норм}} / 100. \quad (3.2)$$

Наведена похибка γ використовується для нормування похибки приладу зі шкальним відліком, який має постійну абсолютну похибку Δ_i по всій шкалі приладу. Вона виражається у відсотках від так званого нормуючого значення $x_{\text{норм}}$

$$\gamma = 100 \cdot \Delta_i / x_{\text{норм}} = c, \quad (3.3)$$

де c - число, вказане на шкалі приладу; $x_{\text{норм}}$ - кінцеве значення робочої частини шкали.

Відносна похибка ε_i використовується для нормування похибок засобів вимірювань і розраховується за формулою

$$\varepsilon_i = 100 \cdot \Delta_i / \bar{x} = C, \quad (3.4)$$

де c - число, вказане на шкалі приладу; \bar{x} - вимірне значення.

Позначення класу точності виражають у відсотках відносно або наведену похибку приладу.

Обробка експериментальних даних, отриманих в результаті багаторазових вимірювань, базується на теорії ймовірності [58, 69]. При цьому проведено n вимірювань x_i вимірюваної величини x

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n.$$

Далі проводиться обчислення середнього арифметичного значення вимірюваної величини за формулою

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_i + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (3.5)$$

Оцінку середнього квадратичного відхилення результату вимірювання проводять за формулою

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (3.6)$$

Розрахунок довірчого інтервалу випадкової похибки проводиться за формулою

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{\alpha, n} S_{\bar{x}}, \quad (3.7)$$

де $t_{\alpha,n}$ - коефіцієнт Стюдента, який враховує необхідну довірчу ймовірність α і кількість проведених вимірювань n , на підставі яких обчислена величина $S_{\bar{x}}$. Коефіцієнт Стюдента вибирається для заданного числа вимірів з довідкової літератури [58, 69].

3.3 Розробка конструкції тістомісильної машини з модернізацією робочого органу

Для виготовлення дослідної експериментальної установки необхідно, розробити кінематичну схему конструкції тістомісильної машини, з об'ємно-гвинтовим робочим органом [94].

В процесі розробки кінематичної схеми конструкції тістомісильної машини враховувалися вимоги, що пред'являються міждержавним стандартом ГОСТ 31523-2012 [23]. Розроблена кінематична схема приведена на рисунку 3.9.

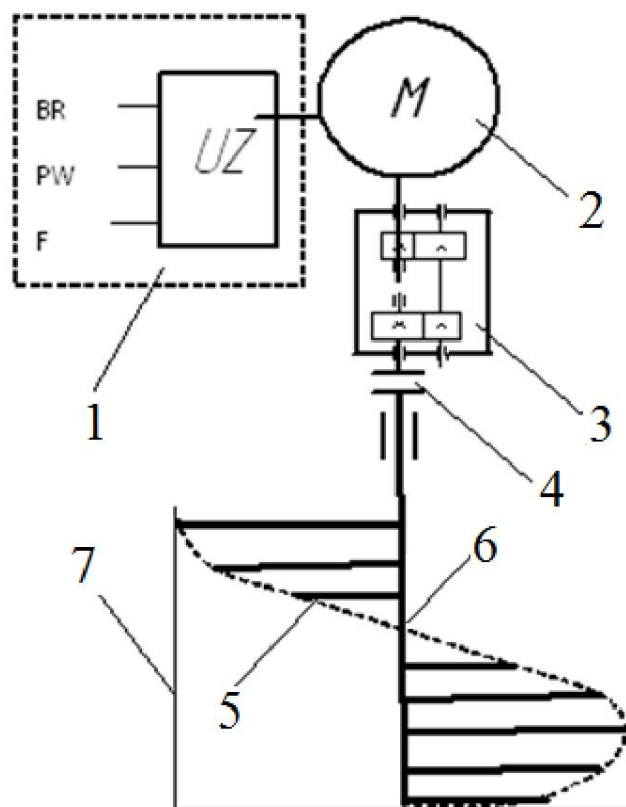


Рисунок 3.9 - Кінематична схема тістомісильної машини: 1 - блок управління (BR - датчик частоти обертання електродвигуна; PW - ватметр; F - пристрій захисту; UZ - векторний частотний перетворювач); 2 - електродвигун; 3 -

редуктор; 4 - муфта; 5 - тістомісильна лопать; 6 - вал тістомісильного органу;
7 - тістомісильна ємність

Кінематична схема, наведена на рисунку 3.9, складається з блоку управління 1, що включає в себе датчик частоти обертання електродвигуна BR, ватметр PW, пристрій захисту F і векторний частотний перетворювач UZ; електродвигун 2, двоступеневий співвісний редуктор 3, муфту 4. Тістомісильні лопаті 5 встановлені по гвинтовій лінії на валу робочого органу 6 з'єднаного з муфтою 4. Замішування тіста здійснюється в тістомісильній ємності 7.

За розробленою кінематичною схемою (рис. 3.9) була побудована проектна модель тістомісильної машини з об'ємно-гвинтовим робочим органом, представлена на рисунку 3.10 [61].

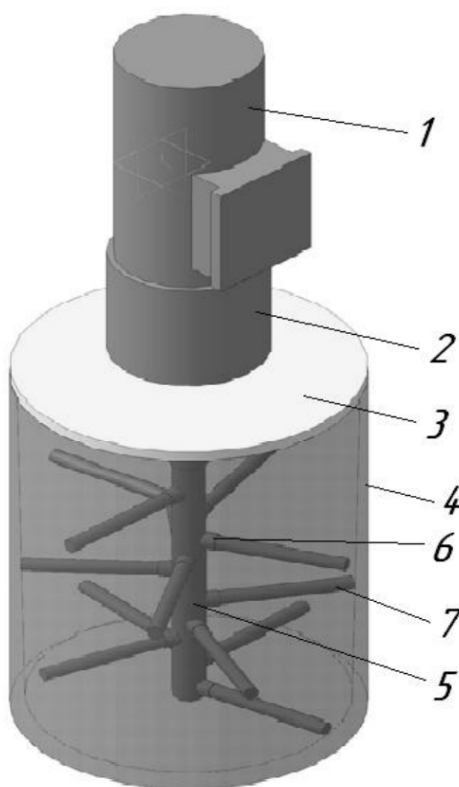


Рисунок 3.10 - Проектна модель тістомісильної машини з об'ємно-гвинтовим робочим органом: 1 - електродвигун; 2 - редуктор; 3 - кришка місильної ємності; 4 - місильна ємність; 5 - робочий орган; 6 - втулка; 7 - тістомісильна лопать

Побудована проектна модель тістомісильної машини з об'ємно гвинтовим робочим органом складається з електродвигуна 1, з'єданого з редуктором 2. Редуктор 2 нерухомо встановлений на кришці 3 тістомісильної ємності 4. На вихідному валу редуктора 2 встановлений робочий орган 5. На робочому органі 5 по гвинтовій лінії встановлені втулки 6 і тістомісильні лопаті 7.

Для дослідження впливу установки робочих лопатей по гвинтовій лінії на органолептичні і фізико-хімічні показники тіста був виготовлений об'ємно-гвинтовий робочий орган, загальний вигляд якого представлений на рисунку 3.11

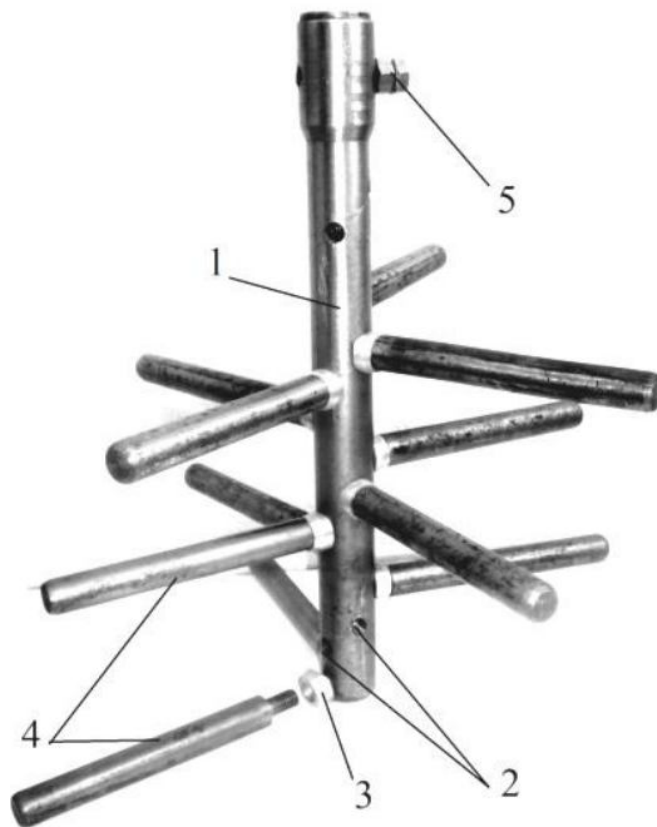


Рисунок 3.11 - Загальний вигляд об'ємно-гвинтового робочого органу: 1 - робочий вал; 2 - отвори для установки лопатей; 3 - посадкова втулка; 4 - тістомісильна лопать; 5 - фіксатор робочого вала на приводному валу

Виготовлений експериментальний зразок об'ємно-гвинтового робочого органу складається з вертикального вала 1, в якому по гвинтовій лінії з

однаковим кроком виконані отвори 2 для установки посадочних втулок 3 і однакових за довжиною тістомісильних лопатей 4. Для фіксації робочого вала 1 на приводному валу використовується фіксатор 5.

3.4 Розробка і виготовлення дослідного зразка тістомісильної машини

На підставі аналізу існуючих конструкцій тістомісильних машин і пристроїв періодичної дії, параметрів їх роботи, а також результатів попередніх розрахунків, виникла необхідність конструкторської розробки нового пристрою для виконання технологічної операції по замішуванню тіста.

При розробці пристрою ставилися наступні завдання:

1. В результаті механічної обробки тіста об'ємно-гвинтовим робочим органом необхідно здійснювати інтенсивне замішування тіста з усуненням формування мертвих зон.

2. Необхідно знизити час виконання процесу виробництва хлібобулочних виробів за рахунок інтенсифікації замішування тіста об'ємно-гвинтовим робочим органом.

3. Необхідний якісний розвиток структури тіста повинен досягатись при скороченні витрат енергії в порівнянні з аналогічними існуючими типами тістомісильних машин інтенсивної дії.

4. Розроблена конструкція робочого органу повинна знизити металоємність і збільшити корисний об'єм тістомісильної ємності.

При реалізації поставлених завдань була розроблена нова тістомісильна машина, що дозволяє досягти бажаних результатів за рахунок змін конструкції робочого органу, а також створення додаткового вертикального руху тіста.

Для досліджень проходження технологічного процесу по замішуванню тіста, на підставі розробок, була виготовлена лабораторна тістомісильна

машина з об'ємно-гвинтовим робочим органом, загальний вигляд якої приведений на рисунку 3.12 [76].

Тістомісильна машина являє собою конструкцію, яка включає в себе привід, що складається з електродвигуна 1, з'єднаного з двоступінчатим співвісним редуктором 2. Редуктор 2 з'єднаний з вертикальним робочим органом 3. Привід нерухомо закріплений на кришці 4 місильної камери 5. У кришці 4 є оглядове вікно 6 для спостереження за процесом. На вертикальному робочому органі 3 по гвинтовій лінії встановлені втулки 7 і робочі лопаті 8. Робочий орган 3 встановлюється по центру місильної ємності 4. Замішування тіста здійснюється за рахунок інтенсивного механічного впливу на перемішувану масу одночасно по всьому об'єму діжі об'ємно-гвинтовим робочим органом.



Рисунок 3.12 - Загальний вигляд експериментальної тістомісильної машини:
1 - електродвигун; 2 - двоступеневий редуктор; 3 - вертикальний робочий орган; 4 - кришка місильної ємності; 5 - місильна ємність; 6 - оглядове вікно; 7 - втулка; 8 - робоча лопать

В ході замішування необхідно досліджувати технологічні параметри: температуру тіста, час замішування і висоту підйому тіста уздовж робочого органу [34, 57, 71, 74, 92, 105].

Для контролю параметрів процесу замішування тіста при експериментальних дослідженнях об'ємно-гвинтового способу, розроблена інформаційно-вимірювальна система (рис. 3.13) [109, 151].



Рисунок 3.13 - Інформаційно-вимірювальна система: 1 - персональний комп'ютер (ПК); 2 - трифазний електродвигун; 3 - співвісний двоступеневий редуктор; 4 - контрольно-вимірювальний прилад ТРМ-1; 5 - датчик температури РТ-100; 6 - датчик температури БТ-3; 7 - місильна ємність; 8 - векторний частотний перетворювач; 9 - джерело електроживлення з напруги 380V; 10 - автоматичний вимикач

Інформаційно-вимірювальна система складається з персонального комп'ютера (ПК) ASUSX 50 SL series (1) з встановленим програмним забезпеченням, необхідним для обробки отриманих результатів. Мотор-редуктор, що складається з асинхронного трифазного електродвигуна

NORDSK63S / 4 (2) в парі з редуктором sk 072.1 F-63 LA / 4 TF (3). Управління електродвигуном (2) проводиться за допомогою векторного перетворювача частоти «Веспер» з вбудованим PLC-контролером E2-8300 (8), що дозволяє виробляти режимне управління з заданими залежними робочими параметрами.

Контроль над температурним режимом процесу замішування тіста здійснюється за допомогою послідовного з'єднання контрольно-вимірювального приладу ТРМ 1 (4) і датчика температури РТ-100 (5), контроль температури навколишнього повітря всередині ємності для приготування тіста (7) - з допомогою термометра БТ 3 (6).

Електродвигун підключений до мережі змінного струму напругою 380 вольт (9) через автоматичні вимикачі (10). Технічна характеристика електродвигуна наведена в таблиці 3.1, редуктора - в таблиці 3.2,

Таблиця 3.1 - Технічна характеристика асинхронного трифазного електродвигуна NORD SK 63S / 4

Показник	Характеристика	
	Номінальна	Допустима
Потужність електродвигуна, кВт	0,25	0,29
Частота обертання, хв ⁻¹	1350	1650
Частота, Гц	50	60
Коефіцієнт потужності, cos φ	0,67	0,67

Таблиця 3.2 - Технічна характеристика редуктора sk 072.1 F-63

Показник	Характеристика
Номінальний крутний момент вихідного вала редуктора, N _m	16
Приводна потужність, кВт	0,25
Повне передавальне число	8,91
Номінальна частота обертання вихідного вала редуктора, хв ⁻¹	152

Результати експериментальних досліджень роботи об'ємно-гвинтового робочого органу за одиничними параметрами технологічного процесу замішування тіста, об'ємно-гвинтовим способом використані при створенні матриць моделювання технологічного процесу.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Дослідження впливу конструктивних параметрів на інтенсифікацію процесу замішування тіста

Дослідження параметрів роботи об'ємно-гвинтового робочого органу і отримання технологічних показників проводилися в науково-дослідних лабораторіях на кафедрі «Технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв» Вінницького національного технічного університету [73, 75, 78].

Для проведення експериментальних досліджень з впливу конструкції об'ємно-гвинтового робочого органу на інтенсифікацію технологічного процесу замішування пшеничного тіста для хлібобулочних виробів, були проведені експериментальні дослідження по замішуванню тіста безопарним способом за інтенсивною «холодною» технологією [125], з дотриманням всіх технологічних операцій з випуску хліба.

Інтенсивна «холодна» технологія передбачає виключення окремої операції бродіння тіста в загальній масі. При цьому бродіння здійснюється для окремих тестових заготовках, спрямованих на розстоювання після оброблення теста. При інтенсивній технології передбачається посилена механічна обробка з внесенням більшої кількості дріжджів або додаванням комплексних покращувачів [68, 125].

В ході експериментальних досліджень впливу конструктивних параметрів робочого органу на витрати енергії в процесі замішування тіста, проведені розрахунки за методикою, наведеною в розділі 2 [71, 108, 112].

Роботу замішування тіста, що здійснюються всією поверхнею тістомісильних лопатей, визначимо за рівнянням (2.5)

$$A_1 = n \cdot b \cdot \Pi \cdot \rho \cos(90 - \alpha) (r^2 - r_1^2) [(1 - k) \Pi^2 (r_1^2 + r^2) + (k \cdot S^2) / 2] = 0.167 \text{ Дж}$$

Визначимо продуктивність тістомісильної машини, за рівнянням (2.6)

$$\Pi = \frac{\Pi_{\text{п}} \cdot (100 + Y) \cdot \kappa_0}{100} = 80 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Розрахувавши продуктивність тістомісильної машини, визначимо роботу, що витрачається на переміщення лопатей, за формулою (2.9)

$$A_2 = \frac{2}{3} dn \Pi^2 \rho_L v^2 (r_1^3 - r^3) = 0,101 \text{ Дж.}$$

Робота, що витрачається на нагрів тіста і металоконструкції тістомісильної машини за один оберт однієї тістомісильної лопаті, визначається за рівнянням (2.10)

$$A_3 = \frac{t_1 - t_2}{n \tau_3 (m_T c_T + m_M c_M)} = 3,95 \text{ Дж/об.}$$

Оскільки структурні зміни тіста залежать від інтенсивності заміса і пропорційні роботі A_1 , то роботу A_4 визначимо за рівнянням (2.11)

$$A_4 = (0,05 - 0,1) A_1 = 0,008 \text{ Дж / об.}$$

Енергія, що витрачається і необхідна для замішування тіста з обертальним рухом об'ємно-гвинтового робочого органу визначається як

$$A = \sum_{i=1}^n A_i = 4,23 \text{ Дж/об.}$$

Результати дослідження впливу конструктивних параметрів об'ємно-гвинтової тістомісильної машини на величину енергії, що витрачається при різних частотах обертання робочого органу і різній кількості встановлених робочих лопатей наведені в таблиці 4.1.

Аналіз результатів експериментальних досліджень, наведених в таблиці 4.1 показав, що інтенсифікація технології замішування хлібопекарського тіста при використанні робочого органу з об'ємно-гвинтовим розташуванням лопатей залежить від частоти обертання робочого органу і кількості лопатей, встановлених по гвинтовій лінії, що підтверджують отримані експериментальні значення балансу витрат енергії.

4.2 Визначення впливу об'ємно-гвинтового способу замішування тіста на конструктивні параметри діжі

При замішуванні тіста на обладнанні, що серійно випускається основні параметри діжі визначаються в наступній послідовності [73, 82, 140].

Таблиця 4.1 - Результати впливу конструктивних параметрів на роботу

Показник	Співвідношення частота обертання / кількість лопатей								
	120/2	90/2	60/2	120/3	90/3	60/3	120/4	90/4	60/4
Робота перемішування, Дж	0,167	0,094	0,041	0,251	0,141	0,062	0,355	0,188	0,083
Робота переміщення лопатей, Дж	0,101	0,057	0,025	0,152	0,085	0,038	0,202	0,114	0,05
Робота нагріву, Дж	3,95	4,19	4,55	2,87	3,83	4,91	0,83	1,31	2,75
Робота вимірювання структури тіста, Дж/об	0,008	0,002	0,002	0,012	0,007	0,003	0,016	0,009	0,004
Робота на один цикл лопаті, Дж / об	4,23	4,34	4,62	3,29	4,06	5,01	1,39	1,63	2,89

Для усунення викиду визначали рівень завантаженої сировини в спокійному стані за формулою (2.17)

$$h = 0,014 / 3,14 \cdot 0,15^2 = 0,2 \text{ м.}$$

Максимальна висота в апараті визначається за формулою (2.20)

$$h_{\max} = 0,2 + (12,5^2 \cdot 0,15^2 / 4 \cdot 9,8) = 0,28 \text{ м.}$$

Мінімальна висота в апараті, при якій процес буде протікати нормально, дорівнює (2.22)

$$h_{\min} = 0,2 - (12,5^2 \cdot 0,15^2 / 4 \cdot 9,8) = 0,12 \text{ м.}$$

Резервна висота діжі дорівнює (2.21)

$$H = 0,28 + 0,05 = 0,33 \text{ м.}$$

Дослідження з визначення впливу об'ємно-гвинтового способу замішування тіста на конструктивні параметри діжі показали, що маса тіста

знижується по краях діжі, і концентрується в центрі, здійснюючи підйом вздовж робочого органу.

Дослідження параметрів технології об'ємно-гвинтового способу замішування тіста, для визначення додаткової висоти зміни підйому тіста здійснювалося в метричній системі, експериментальні дані вносилися в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Експериментальні дані з визначення висоти підйому

h_1	h_1	h_1	h_1	h_1	h_1	h_1	h_1	h_1	h_1
0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,17	0,17
h_{11}	h_{12}	h_{13}	h_{14}	h_{15}	h_{16}	h_{17}	h_{18}	h_{19}	h_{20}
0,17	0,17	0,18	0,19	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23

Примітка. $h_1, h_2 \dots h_n$ - експериментальні значення зміни висоти, м.

Середню висоту знаходимо за формулою (3.5)

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 0,17 \text{ м.}$$

Середнє квадратичне відхилення результатів вимірювання знаходимо по формулою (3.6)

$$S_{\bar{h}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}} = 0,0001.$$

Довірчий інтервал випадкової похибки визначаємо за формулою (3.7)

$$\Delta_{\bar{h}} = t_{\alpha, n} S_{\bar{h}} = 0,004.$$

Визначаємо похибку вимірювання дослідів за формулою (3.9)

$$\varepsilon_h = \Delta_h \cdot 100\% / \bar{h} = 2,35.$$

Отримані експериментальні дані можна використовувати при оптимізації процесу замішування тіста, тому що відносна похибка дослідів 2,35%, що менше допустимих 5%.

4.3 Результати досліджень впливу об'ємно-гвинтового способу замішування на технологічні показники тіста

В ході дослідної перевірки розробленої конструкції експериментального зразка на відповідність технологічним параметрам замішування тіста був проведений ряд експериментальних замісів тіста на експериментальній лабораторній установці тістомісильної машини з об'ємно-гвинтовим робочим органом.

В результаті виконаних експериментальних досліджень з інтенсифікації замішування шляхом посиленого механічного впливу об'ємно-гвинтовим робочим органом були отримані параметри, що впливають на органолептичні і фізико-хімічні показники готової продукції [52, 66].

На стадії замішування здійснювали візуальний контроль однорідності замішаного тіста (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 - Візуальний контроль за процесом замішування тіста

Після візуального визначення завершення замішування здійснювали перевірку, як по всьому об'єму, так і в області робочого органу на наявність непромішаних зон і грудкуваті в тесті (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 - Перевірка пружно-пластичних властивостей і якості замішування тіста

На рисунку 4.2 видно, що тісто в області робочого органу має однорідну структуру, відсутні «мертві» зони.

Після вилежування тісто ділили на шматки заданої ваги (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 - Зважування тіста

Далі тестові заготовки укладали в змащені олією хлібопекарні форми і направляли на розстоювання в розтоювальну шафу (рис. 4.4), в якій створювалась температура 37 °С і вологість 80%.



Рисунок 4.4 - Тестові заготовки на розстоюванні

Після вистоювання з однієї форми взяли пробу для визначення кислотності, а дві інші форми переміщали в лабораторну хлібопекарську піч, розігріту до 220 °С, на 30 хвилин для випічки. Кислотність тіста склала 1,2 - 2,2 °.

Результати проведених досліджень впливу частоти обертання робочого органу і кількості лопатей, встановлених по гвинтовий лінії наведені в таблицях 4.3, 4.4.

Таблиця 4.3 - Результати досліджень факторів, що впливають на технологічні параметри замішування пшеничного тіста

Показник	Співвідношення частота обертання / кількість лопатей								
	120/2	90/2	60/2	120/3	90/3	60/3	120/4	90/4	60/4
Час замішування, хв	2,9	3,4	5,0	2,1	2,3	3,1	2,0	2,2	3,0
Час розстоювання, хв	60	69	80	59	63	70	53	59	64

Аналіз результатів досліджень наведених в таблицях 4.3 і 4.4 показали, що при збільшенні числа обертів робочого органу і кількості лопатей, встановлених по гвинтовий лінії відбувається зниження часу замішування і вистоювання, що пов'язано зі збільшенням інтенсивності замішування.

Таблиця 4.4 - Результати досліджень факторів, що впливають на технологічні параметри замішування житнього тіста

Показник	Співвідношення частота обертання / кількість лопатей								
	120/2	90/2	60/2	120/3	90/3	60/3	120/4	90/4	60/4
Час замішування, хв	8	8,3	8,6	7,3	7,7	8,1	6	6,3	6,7
Час розстоювання, хв	66	70	86	62	68	71	55	62	68

Після вистоювання тісто направили на випічку. Після закінчення процесу випікання хліба (рис. 4.5) зразки витягували з форми і уклали на дерев'яні лотки для охолодження, далі здійснювалося визначення органолептичних та фізико-хімічних показників готових виробів [44, 53, 56].



Рисунок 4.5 - Загальний вигляд формового хліба з пшеничного борошна вищого сорту

Органолептичні показники хліба представлені в таблицях 4.5, 4.6.

Питомий об'єм хліба визначався за формулою (2.30)

$$U_{об} = V / m = 2.63 \text{ см}^3 / \text{г.}$$

Пористість визначали, використовуючи отримані при експериментальних дослідженнях зразки готової продукції. Для розрахунку пористості необхідно визначити масу виїмок м'якушки. Виїмки отримували, використовуючи пробник Журавльова [153].

Таблиця 4.5 - Органолептичні показники пшеничного хліба

Показник	Характеристика
Форма	Правильна
Поверхня	Гладка, без тріщин і підривів, рівна
Колір кірки	Світло-жовтий
Рівномірність забарвлення	Рівномірне
Еластичність	Хороша
Пористість	Дрібна, рівномірна, тонкостінна
Липкість	Не виявлено
Смак	Нормальний, властивий хлібу
Хрускіт	Присутній
Комкуватість	Відсутня
Кришкуватість	Не кришиться
Проміс	Слідів непромісу не виявлено

Таблиця 4.6 - Органолептичні показники житнього хліба

Показник	Характеристика
Форма	Правильна
Поверхня	Гладка, без тріщин і підривів, рівна
Колір кірки	Світло-коричневий
Рівномірність забарвлення	Рівномірне
Еластичність	Хороша
Пористість	Розвинена, без порожнеч і ущільнень
Липкість	Не виявлено
Смак	Нормальний, властивий хлібу
Хрускіт	Присутній
Комкуватість	Відсутня
Кришкуватість	Не кришиться
Проміс	Слідів непромісу не виявлено

Розрахунок пористості, виконували, використовуючи формулу (2.31)

$$P = (V - m/\rho) \cdot 100 / V = 70,5\%.$$

Результати проведених експериментальних досліджень щодо визначення впливу частоти обертання робочого органу і кількості встановлених лопатей, на органолептичні і фізико-хімічні показники наведені в таблицях 4.7, 4.8.

Результати досліджень показали, що при зміні інтенсивності механічного впливу на тісто в процесі замішування змінюється питома об'єм готової продукції, збільшується кислотність і пористість м'якушки хліба.

Таблиця 4.7 - Результати експериментальних досліджень з визначення фізико-хімічних показників готових виробів з пшеничного тіста

Показник	Співвідношення частота обертання / кількість лопатей								
	120/2	90/2	60/2	120/3	90/3	60/3	120/4	90/4	60/4
Пористість, %	70,5	70,4	70,3	71	70,8	70,5	72	72	71
Питомий об'єм, см ³ /г	2,63	2,60	2,61	2,63	2,64	2,62	2,72	2,71	2,71
Кислотність, °	1,8	1,7	1,5	1,8	1,8	1,2	2,2	2,1	2,0
Органолептична оцінка, бал	85	72	62	94	83	77	100	92	86

Таблиця 4.8 - Результати експериментальних досліджень з визначення фізико-хімічних показників готових виробів з житнього тіста

Показник	Співвідношення частота обертання / кількість лопатей								
	120/2	90/2	60/2	120/3	90/3	60/3	120/4	90/4	60/4
Пористість, %	56,8	56,5	56,2	57,8	57,4	57,0	58	57,5	57,7
Питомий об'єм, см ³ /г	2,61	2,59	2,58	2,64	2,62	2,60	2,71	2,69	2,69
Кислотність, °	6,3	6,1	6	6,8	6,6	6,2	7,1	7,0	6,7
Оцінка, бал	84	73	65	93	80	75	100	94	89

4.4 Моделювання технологічного процесу замішування тіста з використанням об'ємно-гвинтового способу

Для моделювання технологічного процесу замішування тіста за допомогою об'ємно-гвинтового способу складена задача планування експеримента з використанням повнофакторного експерименту другого порядку [6-8, 20, 84].

При двох чинниках модель функції відгуку має вигляд

$$y = f(x_1, x_2). \quad (4.1)$$

Для другого порядку описується в загальному вигляді рівнянням

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2, \quad (4.2)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ - коефіцієнти регресії; x_1, x_2 - незалежні змінні.

Незалежними змінними були обрані наступні фактори: X_1 - кількість обертів робочого органу, хв^{-1} ; X_2 - кількість лопатей в контактi з масою, що перемішується, шт. Експерименти проводили на базі методик математичного планування. Основні чинники і рівні їх варіювання подані в таблиці 4.9 [20, 70].

Таблиця 4.9 - Основні фактори і рівні їх варіювання

Характеристика плану	Змінні фактори	
	Кількість обертів робочого органу $X_1, \text{хв}^{-1}$	Кількість лопатей $X_2,$ шт
Основний рівень, $X_i^{(0)}$ (0)	90	3
Крок варіювання, l_i	30	1
Нижній рівень, $X_i^{(-)}$ (-1)	60	2
Верхній рівень, $X_i^{(+)}$ (+1)	120	4

Вихідними параметрами служили:

- Y_1 - робота, що витрачається на один цикл місильної лопаті, Дж / об.
Для визначення питомої роботи, витраченої на виконання технологічної операції приготування тіста, були використані рівняння при розрахунках сумарної роботи на один цикл і процес в цілому;

- Y_2 - температура тіста після замішування, °C. Температура вимірювалась в процесі замішування тіста за допомогою контрольно-вимірювального приладу ТРМ та фіксувалася після закінчення процесу;

- Y_3 - висота підйому тіста уздовж робочого органу, м. Висота підйому рухомої маси фіксувалася в процесі замішування шляхом візуального контролю за шкалою, нанесеною на робочий орган;

- Y_4 - час замішування тіста, хв. Контроль тривалості виконання технологічної операції по замішуванню тіста здійснювався і фіксувався технічним секундоміром від моменту пуску електродвигуна до зупинки;

- Y_5 - час вистоювання, хв. Час вистоювання заміряли секундоміром;

- Y_6 - питомий об'єм хліба, $\text{см}^3/\text{гр}$. Питома об'єм хліба заміряли відповідно до методики;

- Y_7 - пористість, %. Пористість визначена за відомою методикою;

- Y_8 - якість хліба за органолептичними показниками, бали. Якість готового хліба оцінювалася за органолептичними показниками.

На підставі виконаних експериментальних досліджень інтенсифікації технологічного процесу замішування тіста проведемо математичну обробку отриманих результатів, наведених у таблиці 4.10.

Математичну обробку отриманих результатів виконували із використанням пакета прикладних програм Statgraphics Plus XV.I [84, 130].

Таблиця 4.10 - План експерименту та його результати

№ досліджу	X_1 , хв ⁻¹	X_2 , шт	Y_1 , Дж/об	Y_2 , °C	Y_3 , м	Y_4 , хв	Y_5 , год	Y_6 , $\text{см}^3/\text{гр}$	Y_7 , %	Y_8 , бали
1	1	-1	4,23	28,4	0,17	2,9	1,0	2,63	70,5	85
2	0	-1	4,34	28	0,15	3,4	1,09	2,60	70,4	72
3	0	-1	4,62	27,4	0,14	5,0	1,20	2,61	70,3	62
4	1	0	3,29	30,2	0,15	2,1	0,59	2,63	71	94
5	0	0	4,06	28,6	0,13	2,3	1,03	2,64	70,8	83
6	-1	0	5,01	26,8	0,11	3,1	1,10	2,62	70,5	77
7	1	1	1,39	33,6	0,12	2,0	0,53	2,72	72	100
8	0	1	1,63	32,8	0,09	2,2	0,59	2,71	72	92
9	-1	1	2,89	30,4	0,09	3,0	1,04	2,71	71	86

Згідно з даними дисперсійного аналізу, вплив факторів експеримента статистично коректний при рівні значущості $p = 5\%$ (тобто $p < 0,05$).

Вплив незалежних змінних факторів на вихідний параметр Y_1

З дисперсного аналізу і рівняння регресії можна зробити висновок, що на роботу, витрачену при замішуванні тіста на один оберт (Y_1), впливає зміна кількості обертів робочого органа (X_1) ($p\text{-value} = 0,0064$), а також зміна кількості лопатей, встановлених по гвинтовій лінії (X_2) ($p\text{-value} = 0.0048$). Отримані коефіцієнти регресії наведені в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 - Коефіцієнт регресії для Y_1

Коефіцієнт	Значення
constant	4,68444
A: X1	0,205
B: X2	-0,226667
AA	0,0483333
AB	-0,02
BB	-0,546667

Використовуючи отримані коефіцієнти (табл. 4.11) складемо рівняння регресії для Y_1

$$Y_1 = 4,68444 + 0,205 \cdot X_1 - 0,226667 \cdot X_2 + 0,0483333 \cdot X_1^2 - 0,02 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,546667 \cdot X_2^2.$$

Помилка експерименту для $Y_1 = 0,00539259$.

Графічні залежності роботи (Y_1) від частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості тістомісильних лопатей встановлених по гвинтовій лінії (X_2) наведені на рисунках 4.6 і 4.7.

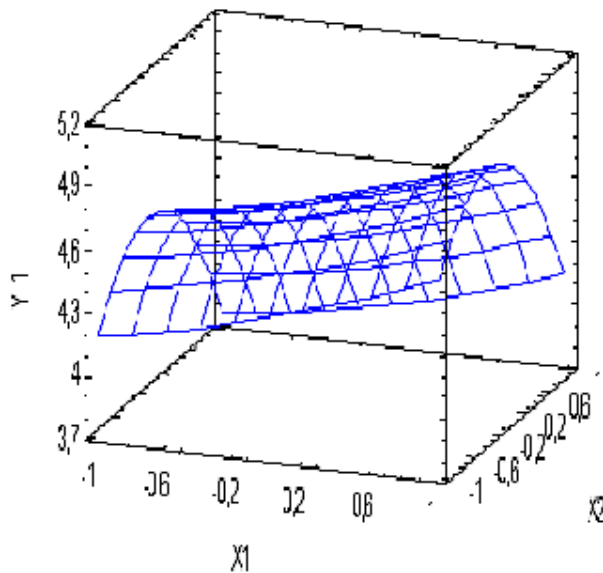


Рисунок 4.6 - Вплив кількості обертів (X_1) і кількості лопатей (X_2) на роботу (Y_1)

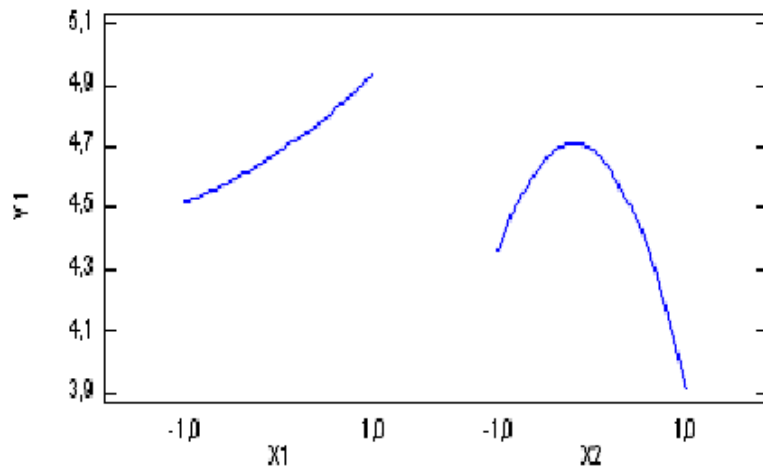


Рисунок 4.7 - Залежність роботи (Y_1), що витрачається від частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості лопатей (X_2)

Отримані залежності вказують, що при зниженні частоти обертання робочого органу відбувається збільшення роботи, що витрачається, а при збільшенні кількості встановлених по гвинтовій лінії тістомісильних лопатей, відбувається зниження роботи, що витрачається.

Вплив незалежних змінних факторів на вихідний параметр Y_2

Істотний вплив на температуру при інтенсивному замішуванні (Y_2) здійснювали зміну частоти обертання робочого органу (X_1) (p-value для $Y_2 = 0,0089$) і кількість лопатей, встановлених по гвинтовий лінії на валу (X_2) (p-value для $Y_2 = 0,0019$).

В результаті математичної обробки експериментальних даних отримані коефіцієнти регресії, наведені в таблиці 4.12.

Використовуючи отримані дані коефіцієнтів регресії, складемо рівняння регресії для Y_2

$$Y_2 = 28,7556 - 1,26667 \cdot X_1 + 2,16667 \cdot X_2 - 0,333333 \cdot X_1^2 - 0,55 \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,56667 \cdot X_2^2.$$

Загальна помилка експерименту для $Y_2 = 0,781111$.

Графічні залежності роботи (Y_1) від оборотів (X_1) і кількості лопатей (X_2) наведені на рисунках 4.8 і 4.9.

Таблиця 4.12 - Коефіцієнт регресії для Y_2

Коефіцієнт	Значення
constant	28,7556
A: X1	-1,26667
B: X2	2,16667
AA	-0,333333
AB	-0,55
BB	1,56667

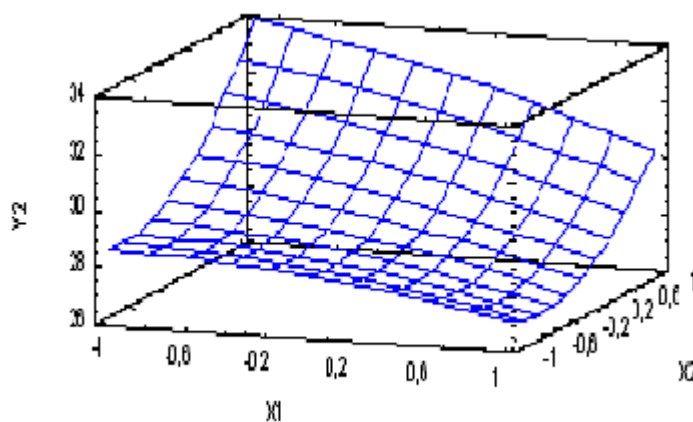


Рисунок 4.8 - Вплив частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості лопатей (X_2) на температуру тіста при замішуванні (Y_2)

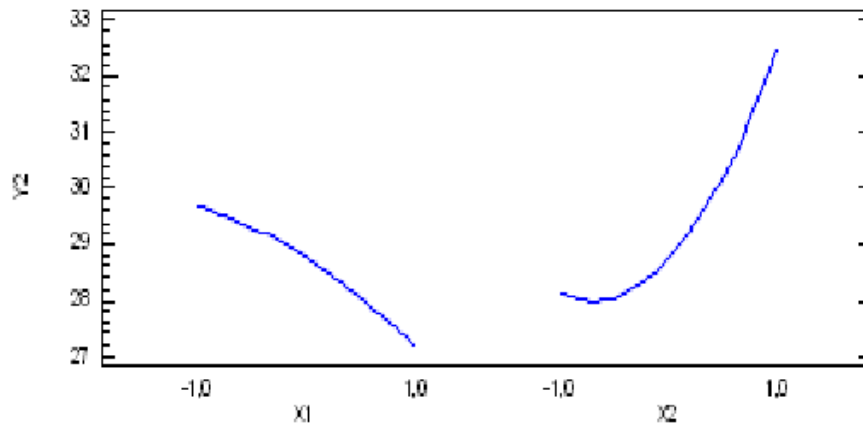


Рисунок 4.9 - Залежність частоти обертання робочого органу (X_1) від кількості встановлених тістомісильних лопатей (X_2) та температури замішування (Y_2)

Графічні залежності вказують, що зі зміною інтенсивності механічного впливу на замішування тіста шляхом зміни частоти обертання і кількості тістомісильних лопатей на робочому органі відбувається підвищення температури тіста в процесі замішування.

Вплив незалежних змінних факторів на вихідний параметр Y_3

Найбільш значимий вплив на зміну висоти підйому тіста в процесі замішування (Y_3) має кількість лопатей, встановлених по гвинтовий лінії на валу (X_2) (p-value для $Y_3 = 0,0017$).

У таблиці 4.13 представлені коефіцієнти регресії, отримані під час математичної обробки експериментальних даних.

Таблиця 4.13 - Коефіцієнт регресії для Y_3

Коефіцієнт	Значення
constant	0,125556
A: X_1	-0,0166667
B: X_2	-0,0266667
AA	0,00666667
AB	0,0
BB	-0,00333333

Використовуючи отримані дані коефіцієнтів регресії, складемо рівняння регресії для Y_3

$$Y_3 = 0,125556 - 0,0166667 \cdot X_1 - 0,0266667 \cdot X_2 + 0,00666667 \cdot X_1^2 + 0,0 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,00333333 \cdot X_2^2.$$

Загальна помилка експерименту для $Y_3 = 0,000111111$.

Графічні залежності підйому маси, що замішується (Y_3) від частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості встановлених по гвинтовій лінії тістомісильних лопатей (X_2) наведені на рисунках 4.10 і 4.11.

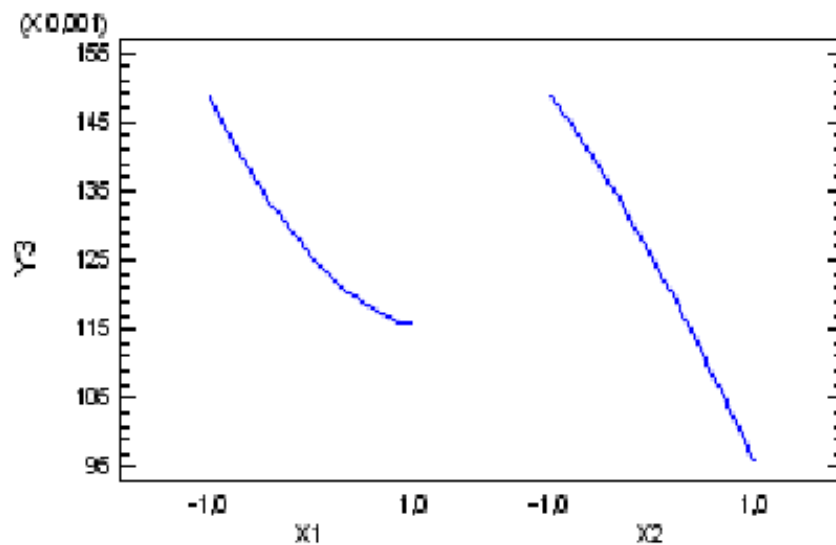


Рисунок 4.10 - Залежність частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості тістомісильних лопатей (X_2) на висоту підйому тіста (Y_3)

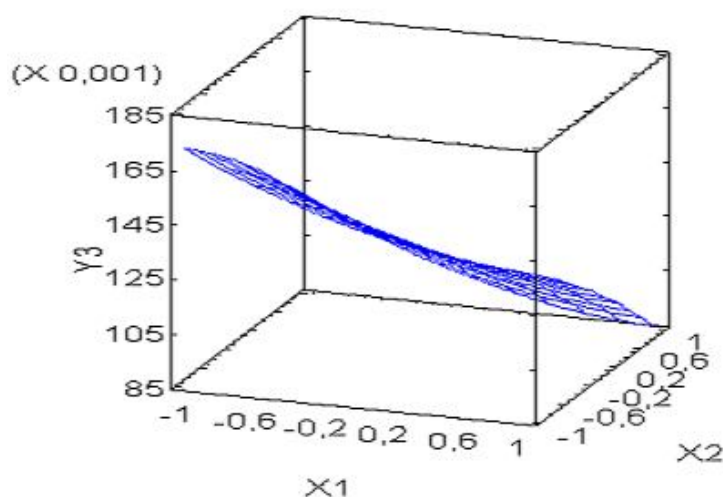


Рисунок 4.11 - Вплив на висоту підйому тіста (Y_3) частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості лопатей встановлених по гвинтовій лінії (X_2)

Графічні залежності вказують, що зі збільшенням частоти обертання відбувається підйом тіста уздовж робочого органу, а з установкою додаткових лопатей відбувається зниження максимальної висоти підйому.

Вплив незалежних змінних факторів на вихідний параметр Y_4

Було досліджено, як впливає з дисперсного аналізу і рівняння регресії, на час процесу замішування тіста (Y_4) вплив зміна кількості оборотів робочого органу (X_1) (p-value = 0,004), а також кількість лопатей, установлених по гвинтовій лінії (X_2) (p-value = 0.004).

Отримані в результаті математичної обробки експериментальних даних коефіцієнти регресії для Y_4 , наведені в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 - Коефіцієнт регресії для Y_4

Коефіцієнт	Значення
constant	2,24444
A: X1	0,683333
B: X2	-0,683333
AA	0,383333
AB	-0,275
BB	0,583333

Використовуючи отримані дані коефіцієнтів регресії, складемо рівняння регресії для Y_4

$$Y_4 = 2,24444 + 0,683333 \cdot X_1 - 0,683333 \cdot X_2 + 0,383333 \cdot X_1^2 - 0,275 \cdot X_1 X_2 + 0,583333 \cdot X_2^2.$$

При цьому загальна помилка експерименту для $Y_4 = 0,12$.

Залежності часу замішування (Y_4) від частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості встановлених тістомісильних лопатей (X_2) наведені на рисунках 4.12 і 4.13.

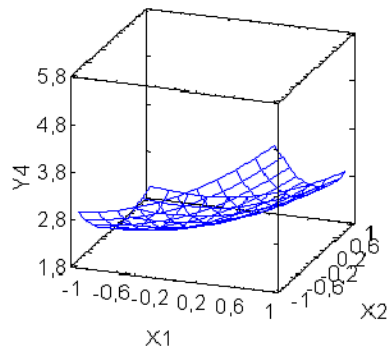


Рисунок 4.12 - Вплив частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості тістомісильних лопатей (X_2) на час замішування (Y_4)

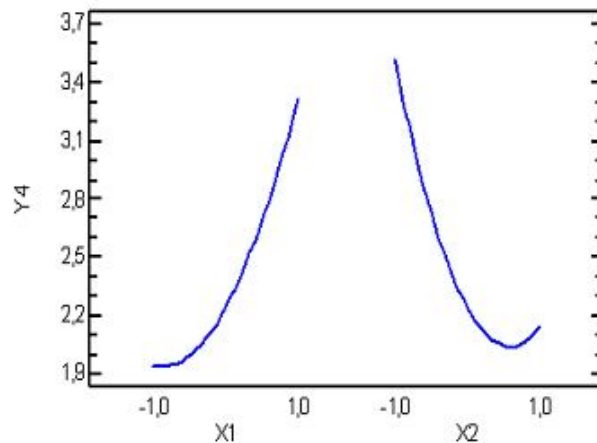


Рисунок 4.13 - Графічні залежності часу замішування (Y_4) від частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості лопатей встановлених по гвинтовій лінії (X_2)

Графічні залежності показують, що зі збільшенням інтенсивності замішування за рахунок зміни частоти обертання робочого органу і установлення додаткових лопатей відбувається зменшення часу замішування.

Вплив незалежних змінних факторів на вихідний параметр Y_5

З дисперсного аналізу і рівняння регресії було досліджено вплив на час вистоювання тістових заготовок (Y_5) зміни частоти обертання робочого органу (X_1) (p-value = 0,0357), а також кількості лопатей, установлених по гвинтовій лінії (X_2) (p-value = 0.0433).

В результаті математичної обробки експериментальних даних отримані коефіцієнти регресії для Y_5 , наведені в таблиці 4.15.

Таблиця 4.15 - Коефіцієнт регресії для Y_5

Коефіцієнт	Значення
constant	0,902222
A: X1	0,203333
B: X2	-0,188333
AA	0,00666667
AB	0,0775
BB	0,00166667

Використовуючи отримані дані коефіцієнтів регресії, складемо рівняння регресії для Y_5

$$Y_5 = 0,902222 + 0,203333 \cdot X_1 - 0,188333 \cdot X_2 + 0,00666667 \cdot X_1^2 + 0,0775 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,00166667 \cdot X_2^2.$$

Загальна помилка експерименту для $Y_5 = 0,056$.

Залежності тривалості вистоювання (Y_5) від частоти обертів (X_1) і кількості лопатей (X_2) наведені на рисунках 4.14 і 4.15.

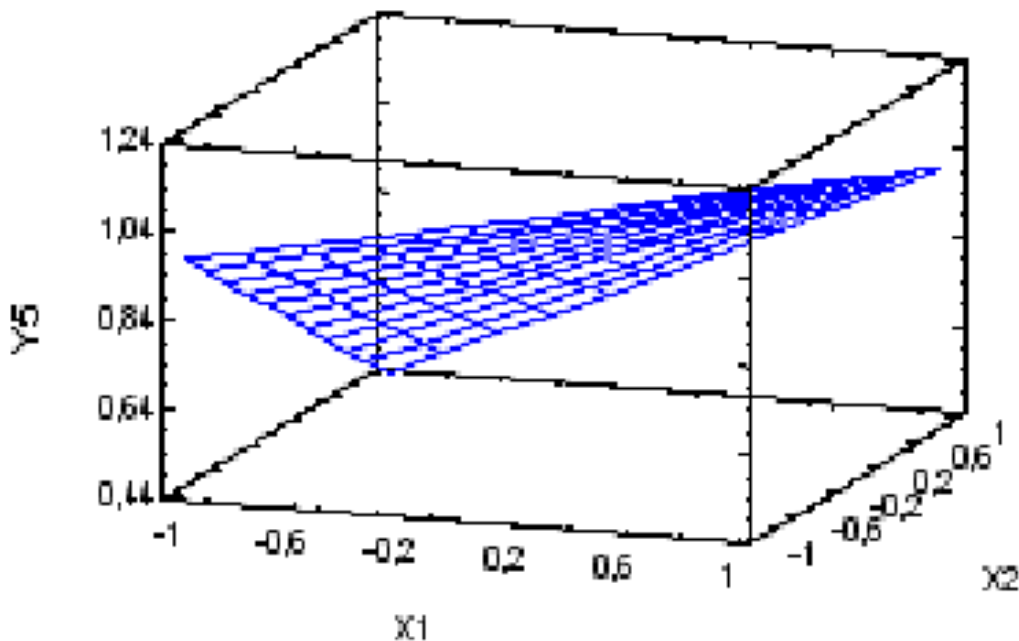


Рисунок 4.14 - Вплив частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості встановлених тістомісильних лопатей (X_2) на час вистоювання (Y_5)

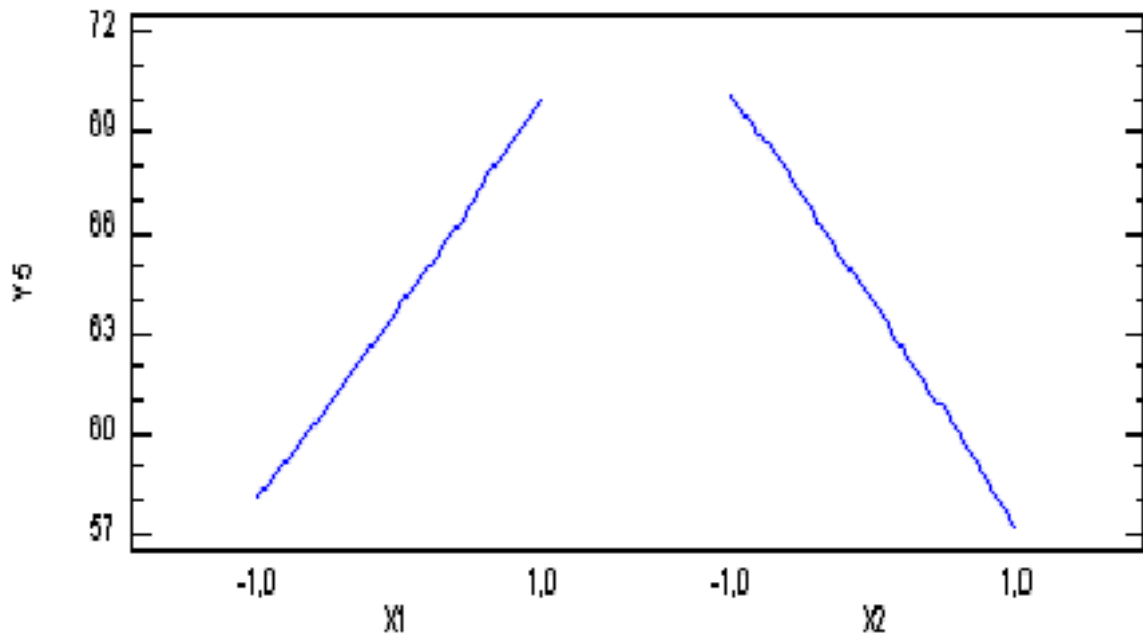


Рисунок 4.15 - Графічні залежності часу вистоювання тестових заготовок (Y_5) від частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості установлених тістомісильних лопатей (X_2)

Графічні залежності показують, що зі збільшенням механічного впливу за рахунок зміни частоти обертання робочого органу і установлення додаткових тістомісильних лопатей відбувається зменшення часу вистоювання тістових заготовок.

Вплив незалежних змінних факторів на вихідний параметр Y_6

З дисперсного аналізу і рівняння регресії було також досліджено вплив на питомий об'єм хліба (Y_6) зміни кількості лопатей, встановлених по гвинтовий лінії (X_2) (p-value = 0.0019).

В результаті математичної обробки експериментальних даних отримані коефіцієнти регресії для Y_6 , наведені в таблиці 4.16.

Використовуючи отримані дані коефіцієнтів регресії, складемо рівняння регресії для Y_6

$$Y_6 = 2,62778 - 0,00666667 \cdot X_1 + 0,05 \cdot X_2 + 0,00333333 \cdot X_1^2 + 0,0025 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,0333333 \cdot X_2^2.$$

Таблиця 4.16 - Коефіцієнт регресії для Y_6

Коефіцієнт	Значення
constant	2,62778
A: X_1	-0,00666667
B: X_2	0,05
AA	0,00333333
AB	0,0025
BB	0,0333333

Помилка експерименту для Y_6 становить 0,0004.

Залежності питомого об'єму хліба (Y_6) від частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості встановлених лопатей (X_2) наведені на рисунках 4.16 і 4.17.

Графічні залежності показують, що зі збільшенням механічного впливу за рахунок зміни частоти обертання робочого органу і установа додаткових тістомісильних лопатей відбувається збільшення питомого об'єму хліба.

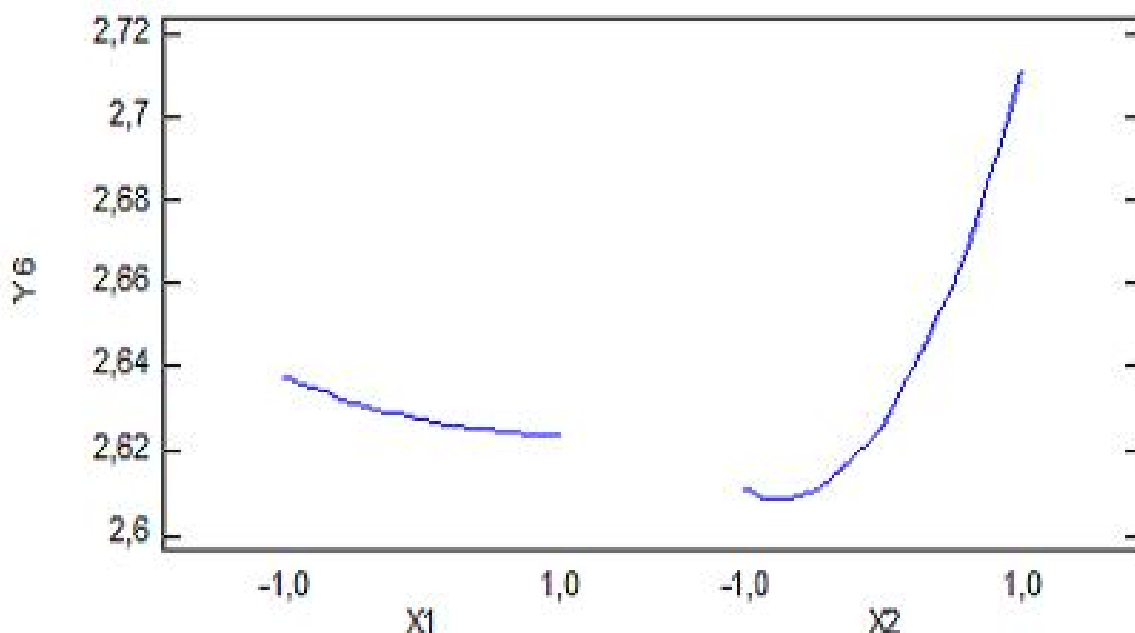


Рисунок 4.16 - Графічні залежності питомого об'єму хліба (Y_6) від частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості тістомісильних лопатей встановлених по гвинтовій лінії (X_2)

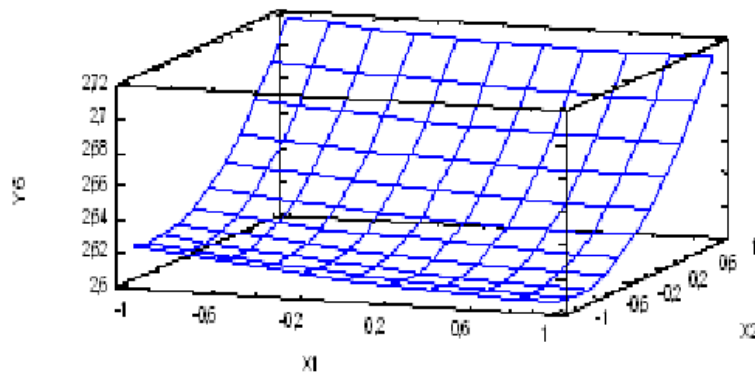


Рисунок 4.17 - Вплив частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості лопатей (X_2) на питомий об'єм хліба (Y_6)

Вплив незалежних змінних факторів на вихідний параметр Y_7

За результатами дисперсного аналізу та рівнянням регресії досліджено вплив на пористість (Y_7) зміни частоти обертання робочого органу (X_1) (P-value = 0,0338), а також кількості лопатей, встановлених по гвинтовий лінії (X_2) (p-value = 0.0036).

В результаті математичної обробки експериментальних даних отримані коефіцієнти регресії для Y_6 , наведені в таблиці 4.17.

Використовуючи отримані дані коефіцієнтів регресії, складемо рівняння регресії для Y_7

$$Y_7 = 70,8889 - 0,283333 \cdot X_1 + 0,633333 \cdot X_2 - 0,183333 \cdot X_1^2 - 0,2 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,266667 \cdot X_2^2.$$

Таблиця 4.17 - Коефіцієнт регресії для Y_7

Коефіцієнт	Значення
constant	70,8889
A: X1	-0,283333
B: X2	0,633333
AA	-0,183333
AB	-0,2
BB	0,266667

Помилка експерименту для $Y_7 = 0.104$.

Графічні залежності пористості (Y_7) від частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості встановлених по гвинтовій лінії тістомісильних лопатей (X_2) наведені на рисунках 4.18 і 4.19.

Графічні залежності показують, що зі збільшенням механічного впливу за рахунок зміни частоти обертання робочого органу і установлення додаткових тістомісильних лопатей відбувається збільшення пористості хліба.

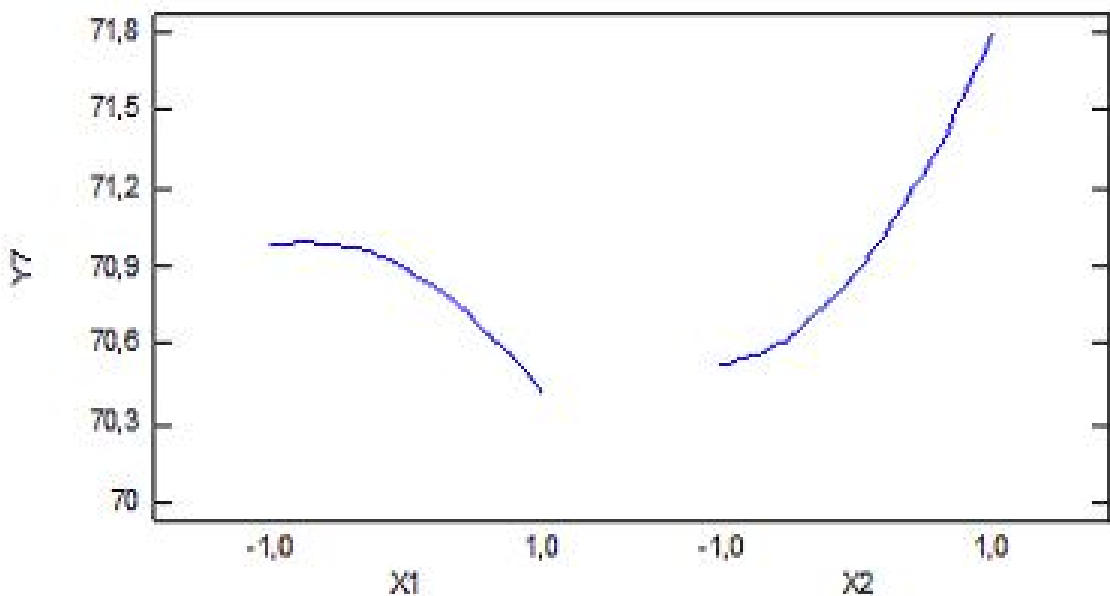


Рисунок 4.18 - Графічні залежності пористості (Y_7) від частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості тістомісильних лопатей (X_2)

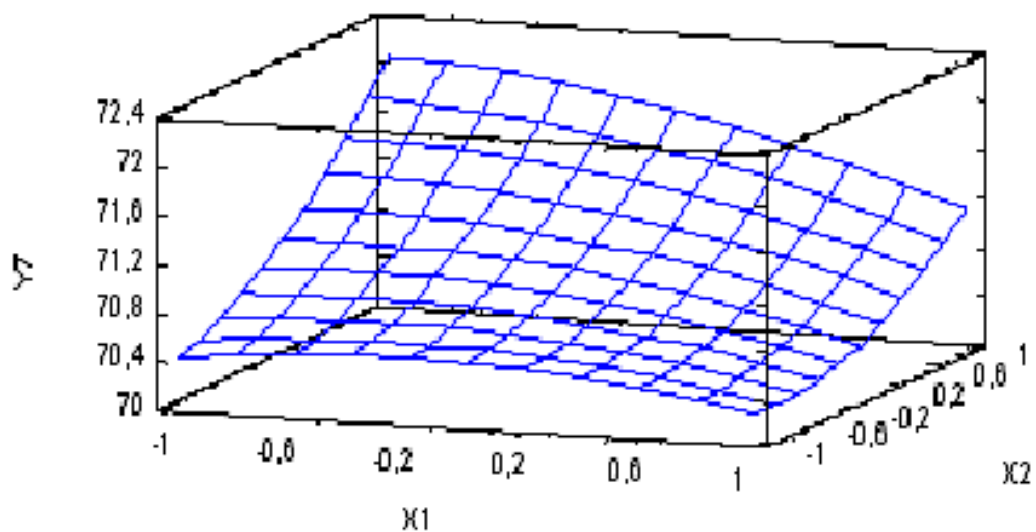


Рисунок 4.19 - Вплив частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості тістомісильних лопатей (X_2) на пористість (Y_7)

Вплив незалежних змінних факторів на вихідний параметр Y_8

На підставі дисперсного аналізу і рівняння регресії можна зробити висновок, що на органолептичні і фізико-хімічні показники готової продукції (Y_8) впливає зміна частоти обертання робочого органу (X_1) (p-value = 0,0001), а також кількість лопатей, встановлених по гвинтовій лінії (X_2) (p-value = 0.0001).

В результаті математичної обробки експериментальних даних отримані коефіцієнти регресії для Y_6 , наведені в таблиці 4.18.

Таблиця 4.18 - Коефіцієнт регресії для Y_8

Коефіцієнт	Значення
constant	83,5556
A: X_1	-9,0
B: X_2	9,83333
AA	1,66667
AB	2,25
BB	-1,83333

Використовуючи отримані дані коефіцієнтів регресії, складемо рівняння регресії для Y_8

$$Y_8 = 83,5556 - 9,0 \cdot X_1 + 9,83333 \cdot X_2 + 1,66667 \cdot X_1^2 + 2,25 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,83333 \cdot X_2^2.$$

Помилка експерименту для $Y_8 = 1,52$.

Графічні залежності органолептичних та фізико-хімічних показників (Y_8) від частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості установлених тістомісильних лопатей по гвинтовій лінії (X_2) наведені на рисунках 4.20 і 4.21.

Графічні залежності показують, що зі збільшенням інтенсивності замішування тіста за рахунок зміни частоти обертання робочого органу і установлення додаткових тістомісильних лопатей відбувається поліпшення органолептичних і фізико-хімічних показників готової продукції.

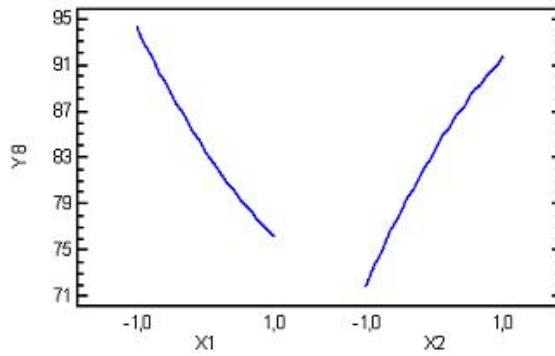


Рисунок 4.20 - Графічні залежності органолептичних та фізико-хімічних показників готової продукції (Y_8) від частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості встановлених тістомісильних лопатей (X_2)

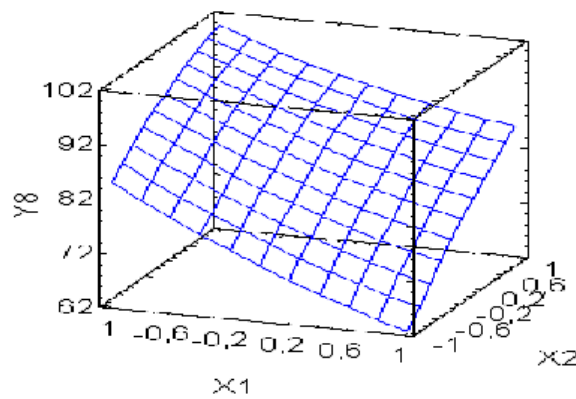


Рисунок 4.21 - Вплив частоти обертання робочого органу (X_1) і кількості встановлених тістомісильних лопатей (X_2) на органолептичні і фізико-хімічні показники готової продукції (Y_8)

4.5 Результати аналізу конструктивно-технологічних параметрів

тістомісильної машини при замішуванні пшеничного і житнього тіста

Для проведення аналізу конструктивно-технологічних параметрів тістомісильних машин, для виготовленої експериментальної установки був підібраний тістомісильний робочий орган, який використовується на серійні тістомісильних машинах прирівняних за об'ємом діжі.

Експериментальні дослідження виконувалися з метою визначення впливу зміни механічної енергії на основні значущі технологічні, органолептичні і фізико-хімічні показники замішаного тіста і готової продукції. Основні показники наведені в таблиці 4.19.

Таблиця 4.19 - Основні органолептичні і фізико-хімічні показники замішаного тіста і готової продукції.

Характеристика	Розроблена дослідно-експериментальна установка тістомісильна машина			
	серійний робочий орган	розроблений об'ємно-гвинтовий робочий орган	серійний робочий орган	розроблений об'ємно-гвинтовий робочий орган
	замішування пшеничного тіста		замішування житнього тіста	
Час замішування, хв	4	3	7	5
Температура після замішування, °С	31	33	32	35
Кінцева кислотність, град	1,2	1,2	2,0	2,0
Час вистоювання, хв	60	53	60	55
Питомий об'єм, см ³ /г	2,70	2,72	2,70	2,71
Пористість, %	71	72	67	68
Вологість, %	44,5	44,5	46	46

Аналіз таблиці 4.19 показує, що час замішування тіста з використанням об'ємно-гвинтового робочого органу змінюється на 33% для пшеничного і 40% житнього хліба, при цьому температура тіста в процесі замішування збільшується на 9,4% для пшеничного і 9,7% для житнього хліба, що не виходить за норми вимог технічних умов. Інтенсифікація процесу замішування теста забезпечує зниження часу вилежування на 12% для пшеничного і житнього хліба. Час вистоювання тістових заготовок знижується на 13% для пшеничного і на 10% житнього хліба. Питомий обсяг готової продукції збільшується на 9,9% для пшеничного і житнього хліба. Пористість набуває розвинену структуру без ущільнень і пустот і збільшується на 5,1% для пшеничного і житнього хліба. Вологість замішаного тіста не змінюється і знаходиться в межах норми для цих сортів хліба. Зміна досліджуваних показників обумовлена і пов'язана з

переміщенням тіста по всьому об'єму у вертикальних і горизонтальних площинах, завдяки використанню об'ємно-гвинтового робочого органу.

Для визначення параметрів впливу об'ємно-гвинтового робочого органу на корисний об'єм діжі, були встановлені відношення металоємності серійних робочих органів до змінюваному об'єму діжі. Отримані результати порівняльних досліджень по зміні величини металоємності робочого органу і ємності діжі, представлені на рисунку 4.22.

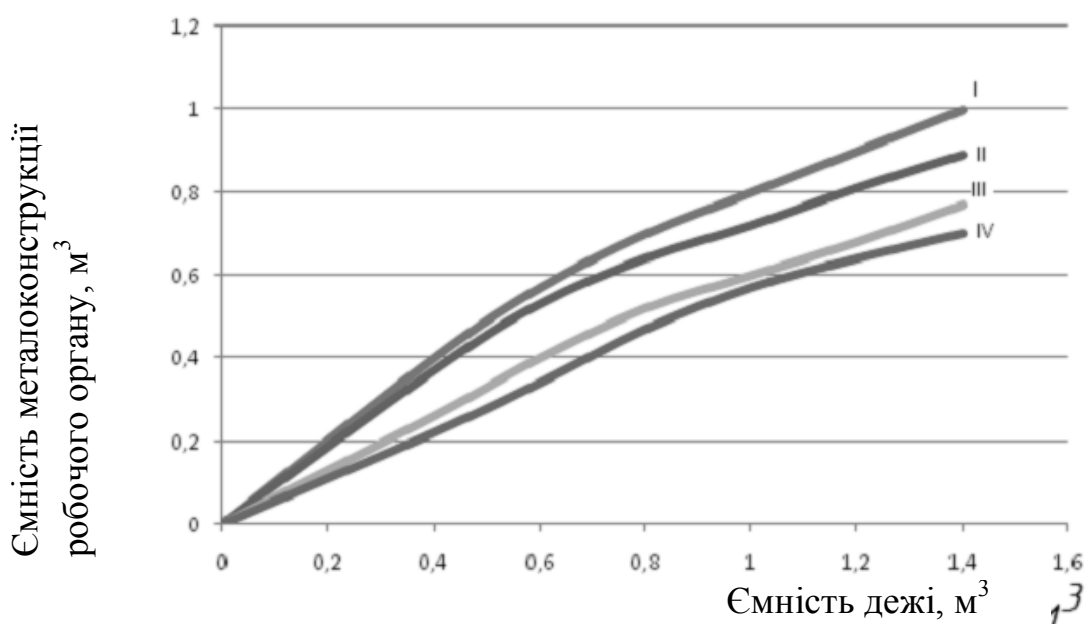


Рисунок 4.22 - Зміни величини металоємності робочого органу і ємності діжі: I - серійного чотирилопатевого робочого органу; II - серійного робочого органу у вигляді труби з просторовою конфігурацією; III - серійної машини зі спіралеподібної місильною лопатою; IV- розроблений дослідний об'ємно-гвинтовий робочий орган

Графічний аналіз зміни об'єму корисного завантаження діжі показує, що при використанні робочого органу з об'ємно-гвинтовим розташуванням тістомісильних лопатей збільшується об'єм корисного завантаження діжі при об'ємі $0,5 \text{ м}^3$ - на 7%, при $1,0 \text{ м}^3$ - на 9%.

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗАМІШУВАННЯ ТІСТА НА МІСИЛЬНОЇ МАШИНИ З ОБ'ЄМНИМ-ГВИНТОВИМ РОБОЧИХ ОРГАНОМ

5.1 Технології приготування тіста на тістомісильної машині з об'ємно-гвинтовим робочим органом

При проведенні експериментальних досліджень з інтенсифікації технологічного процесу приготування хлібопекарського тіста використовувалась «холодна» технологія виробництва [54, 81, 90, 125], схема якої приведена на рисунку 5.1.

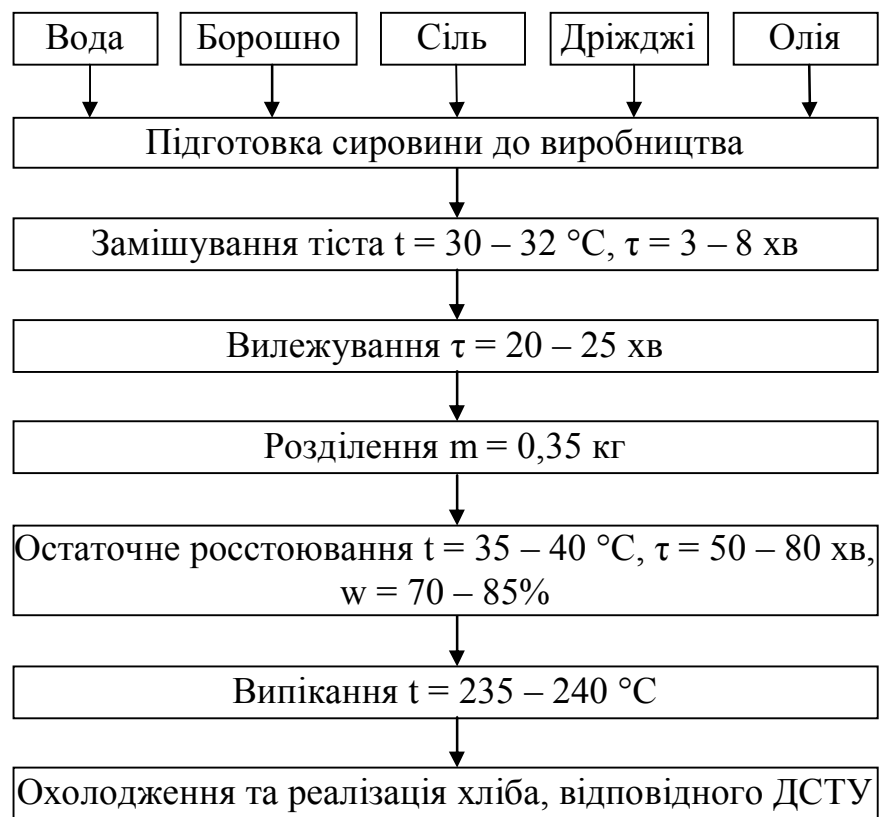


Рисунок 5.1 - Технологічна схема виробництва хліба за «холодною» технологією

Для забезпечення механізованого виробництва типове обладнання відповідно до прийнятої технологією подають на машинно-апаратній схемі

[48, 77, 87, 107, 108, 110, 134, 145]. Машинно-апаратурна схема лінії для виробництва хліба представлена на рисунку 5.2.

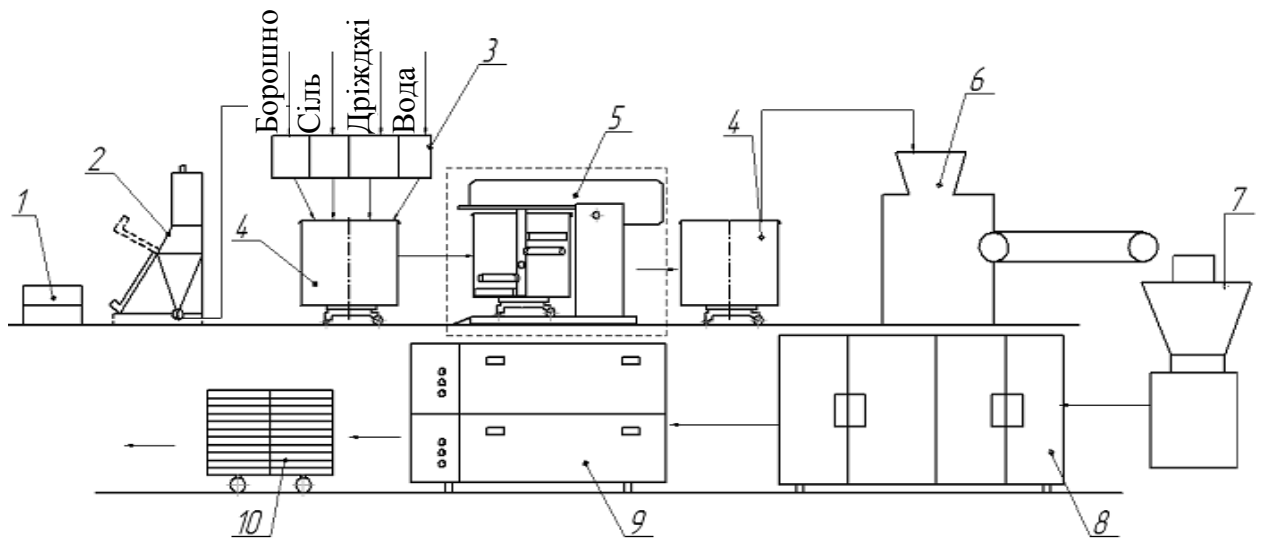


Рисунок 5.2 - Машинно-апаратурна схема лінії для виробництва хліба: 1 - мука, що зберігається в мішках; 2 - борошнопросіювач; 3 - контрольно-вимірювальна станція сировини; 4 - пересувна дежа; 5 - тістомісильна машина з об'ємно-гвинтовим робочим органом; 6 - тістоділильні машини; 7 - тістозаокруглювальна машина; 8 - шафа для вистоювання; 9 - піч; 10 - контейнер з дерев'яними лотками

Машинно-апаратурна схема виробництва хлібобулочних виробів безопарним способом за «холодною» технологією працює таким чином. Борошно, що надходить в мішках 1 подається на борошнопросіювач 2. Борошно, яке пройшло очищення, надходить на станцію дозування 3. Контрольно-вимірювальна станція 3 призначена для дозування в пересувну діжу 4 заданої кількості вихідної сировини. Після завантаження пересувна дежа 4 направляється в тістомісильну машину з об'ємно-гвинтовим робочим органом 5. Після закінчення замішування з пересувної діжі 4 тісто вивантажується в тістоділильну машину 6. У тістоділильній машині 6 тісто ділиться на порції заданої маси, далі порції направляються на обробку в тістозаокруглювальну машину 7. Після обробки утворюються заготовки

кулястої форми, які розкладаються в хлібопекарські форми і спрямовуються на розстоювання в шафу 8. При розстоюванні відбувається бродіння, в результаті чого структура тістових заготовок стає пористою, об'єм їх збільшується, а густина знижується. Заготовки набувають рівну гладку еластичну поверхню. Після закінчення розстоювання форми направляються в хлібопекарську піч 9 і при температурі 220 – 250 °С протягом 20 - 50 хвилин відбувається випікання. Випечені вироби завантажуються в дерев'яні лотки контейнера 10 і направляються на охолодження і реалізацію.

5.2 Розрахунок економічної ефективності від впровадження тістомісильної машини з об'ємно-гвинтовим робочим органом

На підставі розробленої кінематичної схеми був виготовлений дослідний зразок тістомісильної машини з об'ємно-гвинтовим робочим органом і проведені експериментальні дослідження. Однак рішення про подальше застосування розробленого технологічного обладнання вимагало провести аналіз його економічної ефективності [18, 37, 59, 75, 93, 138].

Доцільність впровадження нової конструкції визначається методом порівняння з аналогами за такими показниками: капітальні вкладення, продуктивність, витрати праці і коштів на виробництво, термін окупності вузла.

Річне завантаження тістомісильної машини приймалося відповідно до «Норми річних завантажень і потреби в хлібобулочних výroбах». Розрахунок прямих експлуатаційних витрат, а також розрахунок річного економічного ефекту проводилися на одиницю готової продукції.

Розрахунок економічної ефективності від застосування впровадженого варіанту тістомісильної машини проводився відповідно до «Економічної оцінки інженерних рішень», з урахуванням сучасного законодавства.

Розрахунок фактичної і проектної продуктивності тістомісильної машини, а також витрат праці наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Розрахунок проектної та фактичної продуктивності, а також витра праці

Показник	Одиниця вимірювання	Формула для розрахунку	Показник до впровадження	Показник після впровадження
Продуктивність машини	кг/год	$P = P_n \cdot (100 + Y) \cdot k_0 / 100$	550	700
Продуктивність щодення	кг/день	$P_d = P \cdot t$	13200	16800
Продуктивність річна	кг/рік	$P_r = P_r \cdot D_r$	4686000	5964000
Річні витрати праці	люд год	$Z_r = C_r \cdot t \cdot K_c \cdot D$	68160	68160
Трудомісткість	люд год/кг	$T = Z_r / Q$	0.014	0.011

Для визначення економічної ефективності необхідно провести розрахунок капітальних вкладень на впровадження тістомісильної машини (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 - Розрахунок капітальних вкладень на впровадження тістомісильної машини, грн.

Показник	Формула для розрахунку	Джерело	Величина
Вартість розробки і виготовлення	$C = C_{\Pi} + Z_d + Z_{\text{виг}} + Z_{\text{вс}}$	розрахункова	98832,2
Вартість спожитих ресурсів	$C_{\Pi} = M_p + C_d$	прайс лист	69875
Витрати на доставку матеріалів	$Z_d = t \cdot C_d$	розрахункова	6400
Витрати на виготовлення	$Z_{\text{виг}} = Z_n + H_{\text{тзп}}$	розрахункова	20886,8
Витрати на послуги	$Z_{\text{пос}} = 80\% \text{ від } Z_{\text{виг}}$	розрахункова	16709,4
Кошторисна вартість будівлі пекарні	$C_z = 0,01 \cdot C \cdot \Pi_z$	розрахункова	60242,04
Витрати на електрообладнання і контрольно-вимірювальні прилади	$Z_{\text{квп}} = 0,01 \cdot C \cdot \Pi_{\text{квп}}$	розрахункова	5354,8
Витрати на доставку і монтаж обладнання	$Z_{\text{дм}} = 0,01 \cdot C \cdot \Pi_{\text{дм}} \cdot Z_{\text{дм}}$	розрахункова	42838,7
Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	$Z_{\text{се}} = 0,01 \cdot C \cdot \Pi_{\text{се}}$	розрахункова	16064,5
Загальний обсяг капітальних вкладень	$K = C + C_z + Z_{\text{квп}} + Z_{\text{дм}} + Z_{\text{се}}$	розрахункова	258371,2

Визначення собівартості виробництва, прибутку, і ціни реалізації хліба приведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Визначення собівартості виробництва, прибутку, і ціни реалізації хліба, грн.

Показник	Формула для розрахунку	До впровадження	Після впровадження
Експлуатаційні витрати	$Z_{\text{сум}} = (Z_{\text{от}} + Z_{\text{а}} + Z_{\text{р}} + Z_{\text{те}} + C_{\text{ст}} + C_{\text{с}}) \cdot (1 + 0,01 \cdot \Pi_{\text{пи}}) \cdot (1 + 0,01 \cdot \Pi_{\text{ор}})$	4640008,2	67160376,3
Витрати на оплату праці	$Z_{\text{от}} = 12 \cdot N_{\text{р}} \cdot Z_{\text{ср}} \cdot (1 + 0,01 \cdot R_{\text{соц}})$	976320	3661200
Витрати на амортизацію	$Z_{\text{а}} = [(C + Z_{\text{дм}} + Z_{\text{квп}}) \cdot \Pi_{\text{ао}} + C_{\text{з}} \cdot \Pi_{\text{аз}}] \cdot 0,01$	145777,5	274216930
Страхові платежі	$C_{\text{ст}} = (C_{\text{с}} + C_{\text{з}} + Z + Z_{\text{дм}} + Z_{\text{квп}}) \cdot \Pi_{\text{с}} \cdot 0,01$	40946,2	28288,2
Витрати на ремонт	$Z_{\text{р}} = [(C + Z_{\text{дм}} + Z_{\text{квп}}) \cdot \Pi_{\text{ро}} + C_{\text{з}} \cdot \Pi_{\text{рз}}] \cdot 0,01$	213097,5	274226033
Витрати на електроенергію та паливо	$Z_{\text{те}} = T_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}} \cdot D_{\text{р}} \cdot (N_{\text{е}} \cdot c_{\text{е}} + q_{\text{т}} \cdot c_{\text{т}})$	155856	325464
Собівартість 1 кг готової продукції	$C_{\text{пр}} = Z_{\text{сум}} (1 + 0,01 \Pi_{\text{н}}) / M_{\text{г}}$	10,1	14,7
Собівартість 1 булки хліба	$C_{\text{б}} = C_{\text{пр}} \cdot M_{\text{1б}}$	6,06	8,8
Відпускна ціна 1 булки хліба	$O_{\text{б}} = C_{\text{б}} + C_{\text{б}} \cdot \kappa / \text{Н}$	7,5	10,9
Ціна 1 будки хліба без ПДВ	$O_{\text{бн}} = O_{\text{б}} - (O_{\text{б}} - C_{\text{б}}) \cdot \text{ПДВ} / 100$	7,2	10,5
Балансовий прибуток в розрахунку на 1 булку хліба	$\Pi_{\text{б}} = O_{\text{бн}} - C_{\text{б}}$	1,14	1,7
Балансовий прибуток за рік роботи пікарні	$\Pi_{\text{р}} = V_{\text{х}} \cdot M_{\text{г}} \cdot \Pi_{\text{б}} / 100 \cdot M_{\text{1б}}$	1414740	2345490
Чистий прибуток за рік	$\Pi_{\text{рч}} = \Pi_{\text{р}} \cdot (100 - \Pi_{\text{п}}) / 100$	1075202,4	1782572,4
Термін погашення інвестицій, роки	$T = K / \Pi_{\text{рч}}$	-	0,2

Розрахунок вартості виготовлення тістомісильної машини зроблений за витратами на матеріали і покупні вузли, необхідні для її виготовлення, а також з урахуванням витрат праці на виконання операцій з обробки застосовуваних матеріалів, складання деталей і складальних одиниць в єдину конструкцію. Вартість виготовлення одного зразка тістомісильної машини

склала 98832,2 грн. Чистий прибуток підприємства при цьому повинний збільшитися на 707 370 грн в рік при виробництві 6 т хліба.

ВИСНОВКИ ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Аналіз існуючих технологій, запатентованих способів замішування тіста і конструкцій тістомісильних машин показав, що для удосконалювання процесу приготування тіста технологічно і технічно обґрунтовано використання розробленого об'ємно-гвинтового способу замішування тіста.

2. Розроблено тістомісильну машину, виготовлений експериментальний зразок з робочим органом для реалізації об'ємно-гвинтового способу замішування тіста, а також методика проведення випробувань на основі інформаційно-вимірювальної системи контролю параметрів при експериментальних дослідженнях.

3. Отримано аналітичні залежності, що описують процес замішування тіста і роботу, яка витрачається на один цикл місильної лопаті і змінюється в межах $5,01 \geq A \geq 1,39$ Дж / об. Експериментально визначено, що основними параметрами, що впливають на процес замішування тіста, є: частота обертання робочого органу - 120 хв^{-1} , кількість лопатей, встановлених на валу – 4 шт., оптимальна висота підйому тіста уздовж робочого органу 0,1 м.

4. Отримано раціональні і оптимальні параметри процесу замішування тіста, при цьому робота, що витрачається на один цикл робочого органу складає $A = 1,39$ Дж / об, що дозволяє здійснювати розтоювання тістових заготовок за 0,53 години, при цьому питомий об'єм формового хліба склав $2.72 \text{ см}^3 / \text{г}$, а пористість 72%.

5. Розрахунок економічної ефективності застосування розробленої тістомісильної машини з об'ємно-гвинтовим робочим органом під час приготування хлібопекарського пшеничного тіста показав, що чистий прибуток підприємства складе 707 370 грн при річній продуктивності 6 т хліба на рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паламарчук І.П. Обґрунтування параметрів пружної системи віброконвеєрної машини з кінематичним комбінованим вібробудженням / І.П. Паламарчук, В.І. Паламарчук, В.І. Драчишин // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Прикладна механіка. 6/7 (66) 2013.-С.25-31
2. Гевко Р. Теоретические исследования движения сыпучего материала с возможностью частичного перемешивания на вертикальном участке трубчатого конвейера / Р. Гевко, А. Токарчук // Polish Academy of Sciences University of Engineering and Economics in Rzeszow, – MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2013. Vol.15. № 4. 270-277.
3. Артамонов, А.В. Разработка информационно-измерительной системы для мониторинга динамики замеса пшеничного теста: автореф. дис.... канд. техн. наук:05.18.01 / А.В. Артамонов. - М., 2012. - 24 с.
4. Андреев, А. Н. Домашний хлеб и сдоба / А.Н. Андреев. - М. : Колос, 1993. - 415 с.
5. Паламарчук И., Янович В., Купчук И. Анализ математической модели вибророторной дробилки зернового сырья спиртового производства / И. Паламарчук, В. Янович, И. Купчук // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 17, No 4, 2015 – p. 139-145.
6. Iryna Bernyk Research parameters of ultrasound processing equipment dispersed in technological environment./ MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture-2016.vol.18/№ 3. 3-13.
7. Берман, Г.К. Критерий перемешивания при замесе теста / Г.К. Берман, Н.И. Абрамов, С.А. Мачихин //Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1976. – No5. – С. 29-31.

8. Благовещенская, М.М. Математическая модель качества хлебопекарного теста / М.М.Благовещенская, И.К. Петров // Пищевая технология – 1982. – №5 – С. 69-73.
9. Болтенко, Ю.А. Разработка реологических критериев управления свойствами пшеничного теста и качеством хлебобулочных изделий: дис....канд. техн. наук: 05.18.01 / Ю.А. Болтенко. – М., 2010. –177 с.
10. Бочарников, А.А. Совершенствование процесса выпечки ржанопшеничного формового хлеба: автореф. дис.... канд. техн. наук. – М., 2000. – 28 с.
11. Быкова, Н.Ю. Совершенствование технологии ржаного хлеба путём регулирования параметров приготовления теста и выпечки хлеба: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.18.01 / Н.Ю. Быкова. – М., 2013. – 25 с.
12. Васюкова, А.Т. Современные технологии хлебопечения: учеб.-практ. пособие / А.Т. Васюкова, В.Ф. Пучкова. – М. : Дашков и К, 2007. – 223 с.
13. Верболоз, Е.И. Инновационные технологии для повышения качества хлебобулочных изделий / Е.И. Верболоз, Е.Л. Соковнин // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – № 8-2. – С. 32-35.
14. Верболоз, Е.И. Совершенствование технологии и оборудования для интенсификации производства мучных кондитерских изделий/ Е.И. Верболоз, В.Т. Антуфьев, Р.Н. Савченко // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2015. – № 3(25). – С. 58-63.
15. Воробьёва, Л.И. Стабилизация качества пшеничного хлеба путём оптимизации температурного режима замеса теста: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.18.01/ Л.И. Воробьёва. – М., 1993. – 17 с.
16. Воробьёва, Л.И. Стабилизация качества пшеничного хлеба путём оптимизации температурного режима замеса: дис.... канд. техн. наук. / Л.И. Воробьёва. – М., 1993. – 189 с.

17. Воронин, Р.Н. Метод и средство контроля реологических характеристик хлебобулочных изделий с использованием моделей упруго-вязкой и вязкопластической деформации: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.11.13/ Р.Н. Воронин. – Орел, 2006. – 22 с.
18. Воюш, О.Ю. Управление капитальными вложениями пищевого предприятия / О.Ю. Воюш // Хлебопродукты. – 1996 г. – No 5. 19. Грачёв, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов/ Ю.П. Грачёв, Ю.М. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.
19. Yanovich V. Design of the system to control a vibratory machine for mixing loose materials / V. Yanovich, T. Honcharuk, I. Honcharuk, K. Kovalova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 6/3(90). – P. 6-13.
20. Konoplitskiy V. S. Recovery status and functions of anococcygeal ligament in children after removing coccygeal bone/ V. S. Konoplitskiy, O.O. Lukiyants, D. V. Dmytriiev, K. Y. Dmytriieva, V.P. Yanovich // Клінічна хірургія. – 2017. – №7(903). – С.66-68.
21. Kupchuk I.M., Yanovich V.P. Determination of rational operating parameters for a vibrating disk-type grinder use dinethanol industry / V.P. Yanovich, I.M. Kupchuk, // Inmateh – agriculturalengineering. – 2017. – Vol. 52, No.2. – P.143 – 148.
22. Фіалковська Л.В. Розробка реактора-змішувача для виробництва рафінованої олії / Л.В. Фіалковська, В.П. Янович, О.Б. Шленський, О.В. Цуліна // Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки. Випуск 12(75)- м. Вінниця, 2013. –С. 147-151
23. Цуркан О.В., Полевода Ю.А., Волинець Є.О., Походай М.В. Особливості конструкції комбінованого змішувача для переробних і харчових виробництв // ВНТЖ «Вібрації в техніці та технологіях», 2016. – №1(81). – С. 149 – 153.
24. Паламарчук І.П. Розробка вібровідцентрового змішувача для виробництва сипких субстанцій / І.П Паламарчук., В.П. Янович, Ю.О.

Михальова // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» №1 (96), 2017. – С.104-107.

25. Янович В.П. Розробка вібраційного змішувача кутових коливань для рідких компонентів / Янович В.П. , Тихоненко Д.І., Мельник В.В. // «Перспективи розвитку сільськогосподарської техніки»: матеріали VII щорічної науково-технічної студентської конференції ФМСГ. – Вінниця, 2014р. – С.138-141

26. Цуркан О.В., Полевода Ю.А., Волинець Є.О., Походай М.В. Вібраційний змішувач з розширеними технологічними властивостями / О.В. Цуркан, Ю.А. Полевода, Є.О. Волинець, М.В. Походай // Матеріали ІХ студентської науково-технічної конференції факультету механізації сільського господарства «Перспективи розвитку техніки АПК», 24 березня 2016 р. - Київ, 2016. – С. 116 -119.

27. Берник І.М. Оцінка існуючих методів визначення основних параметрів змішувачів /Є.О. Білоус, О.А. Антонов, І.М. Берник, Л.В. Фіалковська // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Інновації молоді-машинобудуванню» 27-28 квітня 2016р. м. Київ С. 37-40

28. Янович В.П. Розробка вібровідцентрового змішувача сипких мас / В.П. Янович, Ю.А. Полевода, О.Ю. Михальова // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Удосконалення процесів та обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості м. Київ 8-10 листопада 2016р. С.194-196.

29. Цуркан О.В., Полевода Ю.А., Волинець Є.О., Походай М.В. Вібраційний змішувач з розширеними технологічними властивостями / О.В. Цуркан, Ю.А. Полевода, Є.О. Волинець, М.В. Походай // Матеріали ІХ студентської науково-технічної конференції факультету механізації сільського господарства «Перспективи розвитку техніки АПК», 24 березня 2016 р. - Київ, 2016. – С. 116 -119.

30. Полевода Ю.А. Перспективи розвитку вібраційних машин для змішування сипких матеріалів / Ю.А. Полевода, Ю.О. Михальова // XI

Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» м. Кропивницький 1-3 листопада 2017 р. С.293-295.

31. Паламарчук І. Обоснование структурных составляющих вибрконвейерной машины для поверхностной упрочняющей обработки рабочих органов сельскохозяйственных машин. / И. Паламарчук, В. Драчишин, В. Паламарчук // Polish Academy of Sciences University of Engineering and Economics in Rzeszow, – MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2013. Vol.16. № 4. 132-141

32. Горбатюк Р. Н. Оптимизация параметров управления величиной неуравновешенных сил технолонической колебательной системы для восстановления деталей сельскохозяйственных машин. / Р.Н. Горбатюк, Р.В. Чубык // Сборник научных трудов международной научно-технической конференции посвящённой 85-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, д.т.н., почётного профессора ДГТУ А.П. Бабичева «Перспективные направления развития технолонгии машиностроения и металлообработки». – 2013. – С.222-229.

33. Котов Б.І. Моделювання та ідентифікація процесу сепарації дрібного вороху вібраційно-повітряними очистками зернозбирального комбайну/ Б.І. Котов, А.В. Спирін, О.В. Зозуляк // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». - №1 (96), 2017. – С.26-29.

34. Булгаков В.М. Использование прямого метода граничных элементов при исследовании стационарных колебаний пластин / В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, Г.Н. Калетник, А.Г. Куценко // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». - №1 (84), 2017. – С.8-14.

35. Паламарчук І.П. Обґрунтування технології та розробка обладнання для первинного очищення соняшникової олії / І.П. Паламарчук, В.М. Бандура, Л.В. Фіалковська, В.М. Пазюк // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» №1 (84), 2017. – С.129–132.