

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КРАВЧЕНКО ОЛЕКСАНДР ІВАНОВИЧ

УДК 664.653

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ ЗАМІШУВАННЯ ДРІЖДЖОВОГО ТІСТА**

05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та
фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор
Теличкун Володимир Іванович
Національний університет харчових технологій
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри машин і апаратів харчових та
фармацевтичних виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Стадник Ігор Ярославович
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри обладнання харчових технологій

кандидат технічних наук, доцент
Василів Володимир Павлович
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
Міністерства освіти і науки України
доцент кафедри процесів і обладнання переробки
продукції АПК

Захист відбудеться «2» червня 2016 року о 14⁰⁰ годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 у Національному університеті харчових
технологій Міністерства освіти і науки України за адресою:

01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету
харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою:

01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий « » квітня 2016 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент

Л.О. Кривопляс-Володіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В останні роки залишається актуальною проблема по розробці та впровадженню нових технологій, інтенсифікації процесів, підвищенню продуктивності і рентабельності виробництва, покращенню якості готової продукції. Вдосконалення процесів виробництва хлібобулочних виробів в напрямку поліпшення якості відповідає тенденціям розвитку харчової науки.

Одним із ефективних методів прискорення процесу дозрівання тіста та покращення якості хлібобулочних виробів є посилене механічне оброблення тіста під час замішування, що дозволяє впливати на його структуру і фізико-хімічні показники.

Вивчення механізму інтенсивного замішування тіста приведе до створення принципово нового обладнання, яке забезпечить раціональні параметри замішування, покращення реологічних властивостей тіста і якісних показників готових виробів.

Вирішення проблеми інтенсифікації процесу замішування тіста можливе при широкому застосуванні досягнень науки і техніки у виробництві.

Розроблення і обґрунтування економічно ефективної, раціональної конструкції машини безперервної дії, яка підвищить ефективність замішування тіста під час виробництва хлібобулочних виробів, обумовлює актуальність та перспективи даної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано відповідно до пріоритетного напрямку наукових робіт НУХТ, на 2010-2015рр.: "Розробка наукових основ тепломасообмінних та інших процесів харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв з метою створення високоефективних технологій та обладнання, засобів механізації та автоматизації для харчових та переробних галузей АПК" (схвалено вченою радою НУХТ, протокол №7 від 25.03.2006 р.), та пов'язана з кафедральною темою на 2010-2015 рр.: "Інтенсифікація технологічних процесів з метою створення високоефективного обладнання харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв" науково-дослідної роботи Національного університету харчових технологій (схвалено на засіданні кафедри МАХФВ протокол № 3 від 17 вересня 2010р.) Виконана робота відповідає Закону України від 12 жовтня 2010р. № 2623-14 "Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки"

Метою дисертаційної роботи є дослідження процесу замішування пшеничного дріжджового тіста та наукове обґрунтування поєднання технологічних операцій інтенсивного замішування, бродіння в закритому об'ємі під тиском і формування розрихлених тістових заготовок в одному агрегаті.

Досягнення поставленої мети здійснювали на основі комплексу досліджень, які включали такі взаємопов'язані завдання:

- визначити вплив питомої роботи замішування на структурно-механічні властивості дріжджового тіста;
- визначити залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву;
- проаналізувати вплив надлишкового тиску на процес бродіння в закритому об'ємі пшеничного дріжджового тіста;

- провести імітаційне моделювання процесу замішування дріжджового тіста;
- обґрунтувати конструктивні параметри робочих органів на основі фізичних експериментів та імітаційного моделювання;
- розробити конструкцію змішувально-бродильно-формуального агрегату для приготування пшеничного дріжджового тіста;
- удосконалити схему виробництва для приготування виробів із пшеничного дріжджового тіста та оцінити її техніко-економічну ефективність.

Об’єктом досліджень є процес замішування пшеничного дріжджового тіста.

Предметом досліджень є структурно-механічні властивості тіста, конструктивні параметри робочих органів.

Методи дослідження. Дослідження в роботі виконані методами фізичного експерименту та імітаційного моделювання. Фізичний експеримент здійснювався на розроблених установках, реологічні дослідження – методами капілярної віскозиметрії.

Оброблення експериментальних даних та розрахунки виконувались із застосуванням сучасних інтегрованих систем MathCAD 15, КОМПАС – 3DV14, Flow Vision, Microsoft Excel.

Властивості рецептурних компонентів, тістового напівфабрикату та готових виробів визначали за стандартними методиками, які використовуються в хлібопекарській промисловості.

Наукова новизна отриманих результатів. На підґрунті системного підходу проведено комплексні дослідження технологічних операцій виробництва хлібобулочних виробів, спрямовані на визначення структурно-механічних властивостей тіста, а також режимів роботи технологічного обладнання на стадії замісу, бродіння та формування.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень:

- вперше запропоновано поєднання технологічних операцій інтенсивного замішування, бродіння під тиском та формування розрихлених тістових заготовок в цілісну систему приготування тістових напівфабрикатів;
- встановлено динаміку зміни об’єму тіста при бродінні під тиском, в залежності від надлишкового тиску та тривалості бродіння;
- досліджено взаємозв’язок і отримано залежність витрат питомої роботи на замішування із якісними показниками тістових напівфабрикатів та готових виробів;
- отримана залежність витрат роботи на замішування від кроку та частоти обертання робочих органів;
- досліджено вплив конструктивних параметрів робочих органів та режимів замішування пшеничного дріжджового тіста на витрати питомої роботи на замішування тіста методом імітаційного моделювання процесу;
- обґрунтовані раціональні параметри процесу приготування тіста та конструктивні параметри робочих органів обладнання.

Практичне значення отриманих результатів:

- встановлені математичні залежності структурно-механічних властивостей тіста від питомої роботи, які рекомендується застосовувати при виборі раціональних параметрів процесу замішування;
- запропонована імітаційна модель процесу замішування дозволяє одержати вихідні дані для проектування конструкцій агрегату або тістомісильної машини;
- запропонована конструкція змішувально-бродильно-формуального агрегату для безперервного, інтенсивного замішування, виброджування під надлишковим тиском та формування розрихленого тіста безпосередньо на під печі, захищена патентом України на винахід;
- запропонована економічно ефективна машино-апаратурна схема виробництва хлібобулочних виробів, в якій встановлено змішувально-бродильно-формувальний агрегат. Завдяки чому скорочуються виробничі площі, витрати на утримання і експлуатацію обладнання, тривалість технологічних операцій і, як наслідок, собівартість виробів;
- результати досліджень впроваджені у навчальний процес Національного університету харчових технологій і використовуються на лабораторних заняттях з дисциплін "Технологічне обладнання галузі", "Технологічне обладнання харчових виробництв" для студентів напрямку підготовки 7(8).05050313 "Обладнання переробних і харчових виробництв", а також в курсовому, дипломному проектуванні та магістерських роботах.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні положення, методика проведення фізичних експериментів та комп'ютерного моделювання процесу замішування пшеничного дріжджового тіста розроблені у співавторстві з науковим керівником к.т.н., проф. Теличуном В.І.

Автором особисто: розроблені геометричні моделі ємкості і робочих органів; виконані обчислювальні експерименти, виконано оброблення та узагальнення результатів фізичних та обчислювальних експериментів, розроблено рекомендації щодо зниження енерговитрат та інтенсифікації процесу виробництва хлібобулочних виробів.

Апробація результатів досліджень. Матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на 77...81-й міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів. (м. Київ); Международной научно-практической конференции “Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции” (г.Минск); VII міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми харчових технологій і харчування. Сучасні виклики і перспективи розвитку” (м.Донецьк); Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Пищевые инновации и биотехнологии”(г. Кемерово); Международной конференции “Integrated systems for agri-food production SIPA 2013” (Sibiu); Международной научно-практической конференции “Инновационное развитие малых городов России: научный, технологический и образовательный потенциал” (г.Мелеуз).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 21 наукову роботу, з них: з них 4 статті у вітчизняних фахових виданнях, 1 стаття у закордонному виданні, 1 патент

на винахід та 3 патенти на корисну модель, 12 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 122 найменувань та додатків. Основний зміст дисертаційної роботи викладено на 115 сторінках. Дисертація ілюстрована 59 рисунками та 6 таблицями, містить 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи; сформульовано мету і завдання досліджень, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів; наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** розглянуті структурно-механічні характеристики неньютонівських рідин і обґрунтована належність до них пшеничного тіста, наведено теоретичні основи процесу замішування.

На основі проведеного літературного огляду проаналізовано конструкції тістомісильних машин безперервної дії та показано, що машини не в повній мірі забезпечують ефективність замішування і як наслідок якість готових виробів. Тому актуальним є проведення дослідження процесу замішування пшеничного дріжджового тіста. Обґрунтовано доцільність вибраного напрямку досліджень, сформульовано мету і завдання досліджень.

У **другому розділі** обґрунтовано об'єкт і предмет досліджень та наведено характеристики матеріалів, що використовувалися для досліджень.

Наведені експериментальні установки та методики проведення досліджень.

Для дослідження процесу замішування пшеничного тіста створено експериментальну установку (рис. 1).

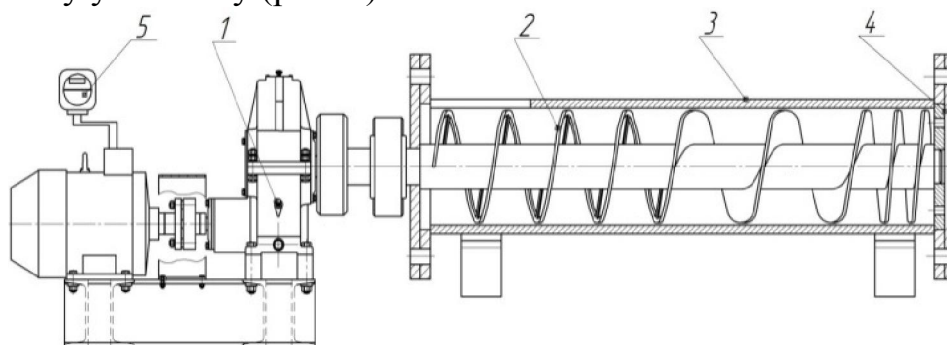


Рис. 1. Експериментальна установка для безперервного замішування тіста:
1 – привід; 2 – робочий орган (шнеки); 3 – корпус; 4 – стабілізуюча решітка; 5 – прилад для вимірювання електричної потужності.

Питому роботу, що витрачається на замішування, змінювали регулюванням частоти обертання місильного органу і тривалості замішування і визначали за допомогою вольтметра та лічильника, підключених до двигуна місильної машини за відповідною схемою. Питому роботу $A_{\text{пит}}$ Дж/г обчислювали за формулою:

$$A_{\text{пит}} = \frac{(N_{\text{заг}} - N_{\text{хх}}) \cdot \tau}{Q} \quad (1)$$

де $N_{\text{заг}}$ – середнє значення потужності, що споживається двигуном в робочому стані, Вт; $N_{\text{хх}}$ – потужність холостого ходу, Вт; τ – тривалість замішування, с; Q – маса тіста, г.

Для дослідження процесу бродіння під надлишковим тиском створено експериментальну установку (рис. 2.).

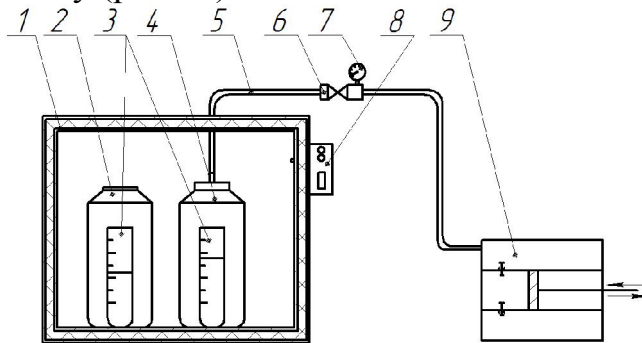


Рис. 2. Експериментальна установка для дослідження процесу бродіння під тиском : 1 – термостат, 2 – відкрита посудина, 3 – мірні циліндри, 4 – посудина під надлишковим тиском, 5 – з'єднувальний трубопровід, 6 – регулювальний вентиль, 7 – манометр, 8 – щиток керування термостатом, 9 – компресор.

Методика проведення досліджень: тісто виброджувало 30 хвилин після чого з нього формували дві заготовки масою по 40 г і укладали їх в мірні циліндри. Один із циліндрів поміщали в посудину, що герметично закривалась і була під'єднана до нагнітача. В посудині підтримувався відповідний тиск (0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3 МПа) та фіксували зміну об'єму тіста в циліндрі за час бродіння. Другий зразок був контрольний. Обидва циліндри поміщали в термостат в якому підтримували температуру 32 – 33 °С.

Через певний проміжок часу (5, 10,...40 хв) бродіння тіста різко знижували тиск в посудині дослідного зразка до атмосферного і фіксували зміну об'єму тіста в циліндрі через кожні 20 секунд до досягнення максимального об'єму. Тривалість відновлення структури для всіх зразків складає 2 хв. Об'єм контрольного зразка фіксували через кожні 5 хв до досягнення максимального об'єму.

В розділі представлено математичні залежності, які описують процес замішування, та умови однозначності, що забезпечують отримання адекватних результатів.

Під час виконання досліджень використовували загальновідомі методи визначення якості тіста та готових виробів. Обробку результатів експериментальних досліджень виконували за допомогою методів математичної статистики з використанням пакету прикладних програм Microsoft Excel, MathCAD.

У **третьому розділі** представлені результати експериментальних досліджень та імітаційного моделювання процесу замішування пшеничного дріжджового тіста.

Для побудови кривих течії дріжджового тіста ми використовуємо залежності об'ємної витрати V (м³/с) від перепаду тиску Δp по довжині капіляру.

По змінному перепаду тиску Δp та розмірам капіляра можливо підрахувати напруження зсуву $\tau_{\text{зс}}$ в точках маси, які знаходяться біля стінок капіляра:

$$\tau_{zc} = \frac{\Delta p \cdot d}{4 \cdot l} \quad (2)$$

де Δp – перепад тиску, Па; d – діаметр капіляра, м; l – довжина капіляра, м.
Швидкість зсуву γ_{zc} в точках біля стінки капіляра:

$$\gamma_{zc} = \frac{1.27 \cdot V}{R^3} \quad (3)$$

де V – об'ємна витрата, м³/с; R – радіус капіляра, м.

Отримані криві течії хлібопекарського тіста дозволяють визначити ефективну в'язкість тіста:

$$\eta_{ef} = \frac{\tau_{zc}}{\gamma_{zc}} \quad (4)$$

де τ_{zc} – напруження зсуву, Па; γ_{zc} – швидкість зсуву, с⁻¹.

Отримана залежність (рис. 3) характеризує поведінку тіста як псевдопластичної рідини. Залежність носить степеневий характер та описується рівнянням:

$$\tau = 4520 \cdot \gamma^{0.02} \quad (5)$$

Ефективна в'язкість, яку отримують по повній реологічній кривій, вважається основною характеристикою структурно-механічних властивостей дисперсних систем. Саме вона описує рівноважний стан між процесами руйнування і відновлення структури в усталеному потоці. Залежність ефективної в'язкості від градієнта швидкості зсуву зображено на рис. 4.

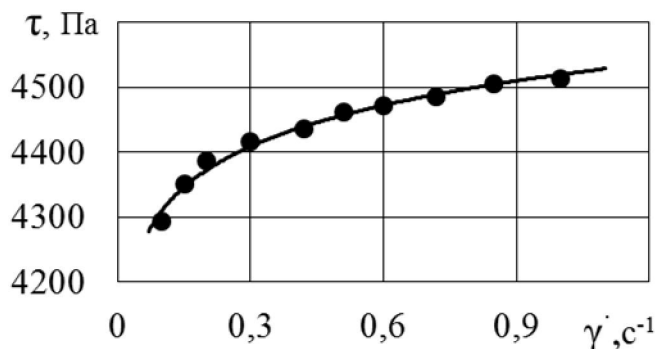


Рис. 3. Залежність напруження зсуву від швидкості зсуву.

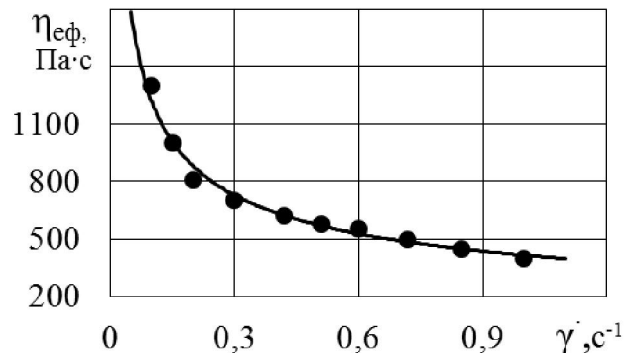


Рис. 4. Залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву.

Збільшення швидкості зсуву призводить до зменшення в'язкості, що характерно для матеріалів, у яких при деформуванні відбувається орієнтація молекул в напрямку зсуву і порушення зв'язків між ними.

Залежність описується формулою:

$$\eta_{ef} = 415 \cdot \gamma^{-0.47} \quad (6)$$

Залежність використовується під час імітаційного моделювання як характеристика течії.

Математична обробка експериментальних даних дозволила отримати залежність ефективної в'язкості тіста від тривалості бродіння в залежності від

витрати питомої роботи, що витрачається на замішування тіста (рис. 5). Тривале бродіння дріжджового тіста з точки зору досягнення ним структурно-механічних властивостей, характерних для вибродженого тіста, можна замінити інтенсивною механічною обробкою під час замішування.

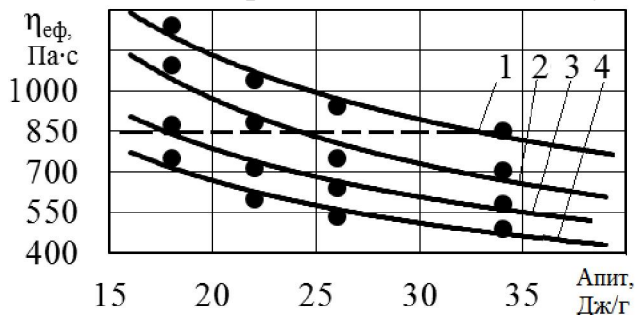


Рис. 5. Залежність ефективної в'язкості тіста від витрат питомої роботи при тривалості виброджування: 1 – 0; 2 – 60; 3 – 120; 4 – 180 хв.

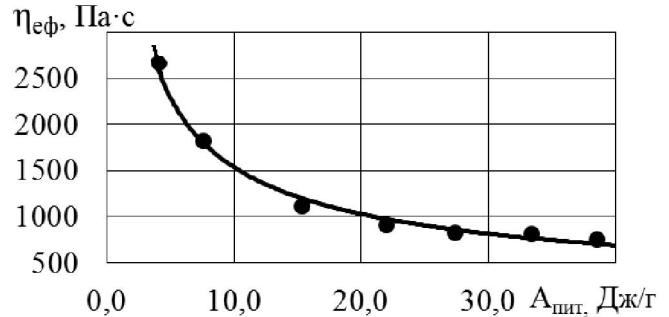


Рис. 6. Залежність ефективної в'язкості тіста від витрат питомої роботи замішування.

Аналіз експериментальних даних (рис. 6) показав, що в'язкість тіста знижується із збільшенням питомої роботи витраченої, на замішування тіста. В'язкість дріжджового тіста знижується зі збільшенням витрат питомої роботи, витраченої на замішування тіста. Інтенсивний механічний вплив призводить до послаблення взаємодії між окремими частинками тіста за рахунок інтенсифікації дії гідролітичних ферментів.

Дослідження впливу тривалості бродіння під надлишковим тиском на об'єм тістових заготовок показує, що під час бродіння під тиском 0,2 МПа об'єм тіста не змінюється за 40 хвилин виброджування (рис. 7, криві 1 – 8). Об'єм контрольного зразка, що бродить в умовах атмосферного тиску, безперервно зростає (крива 9), що свідчить про те, що вуглекислий газ, що утворився під час бродіння під тиском розчиняється та поглинається в об'ємі тіста.

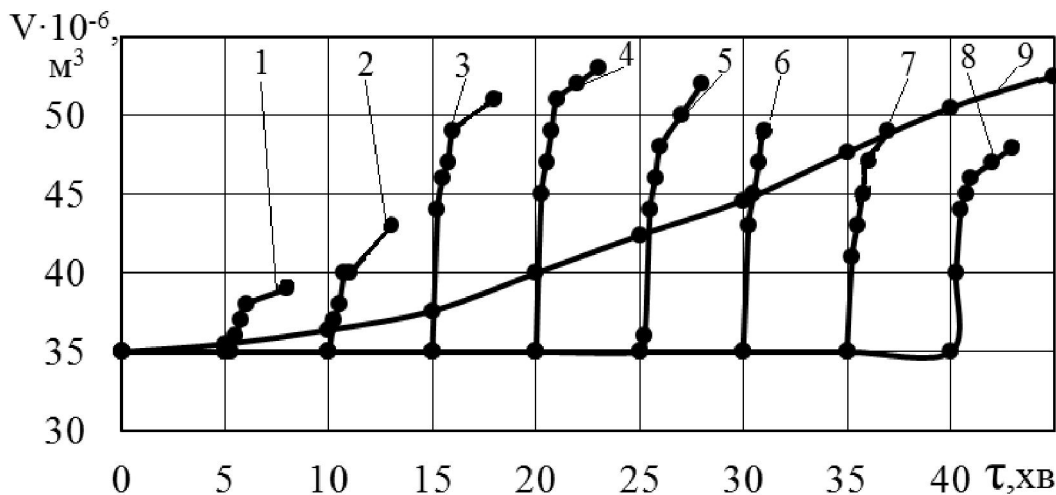


Рис. 7. Зміна об'єму тістових заготовок за час бродіння під надлишковим тиском 0,2 МПа. Тривалість бродіння під тиском: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25; 6 – 30; 7 – 35; 8 – 40 хв. 9 – контрольний зразок.

Якщо в процесі бродіння зняти тиск, об'єм тістової заготовки швидко збільшується на протязі однієї хвилини і досягає максимального значення за рахунок CO_2 що переходить із розчинного стану в газоподібний.

Відновлений об'єм зразка тіста, що був під тиском, незалежно від тривалості бродіння перевищує об'єм контрольного зразка (крива 9) за той же період. Отримані дані свідчать, що об'єм дослідного зразка має найбільший відновлений об'єм при бродінні 20 хвилин (крива 4). За більш тривалого бродіння під тиском об'єм зразка зменшується (криві 5 – 8). Відновлений об'єм дослідного зразка тіста при 20 хвилинах бродіння під тиском відповідає максимальному об'єму контрольного зразка після 35 – 40 хвилин бродіння, тобто бродіння тіста під тиском дозволяє в двічі скоротити тривалість бродіння тістової заготовки під час традиційного вистоювання. Встановлено, що після зняття навантаження відновлення об'єму тістової заготовки триває 90 с після чого продовжується звичайне бродіння. Зразок який знаходився під тиском 20 хв перевищує об'єм контрольного зразка, відразу після зняття навантаження на 10 – 15%, а після релаксації напружень у тістовій масі, її об'єм перевищує контрольний на 20 – 25%.

Об'єм заготовок, що перебували під тиском, перевищує об'єм контрольного зразка, тим самим підтверджується позитивний вплив тиску на процес бродіння.

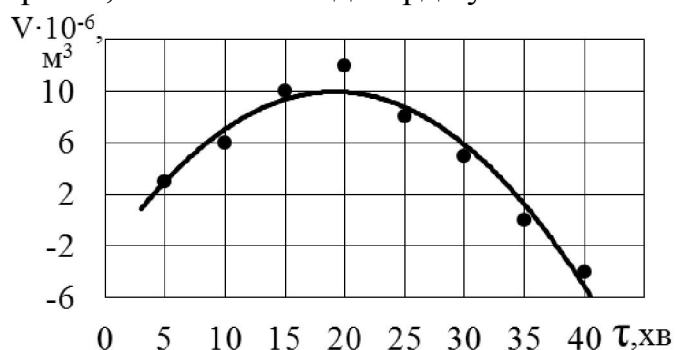


Рис. 8. Приріст об'єму тістової заготовки відносно контрольного зразка в залежності від тривалості бродіння під тиском 0,2 МПа.

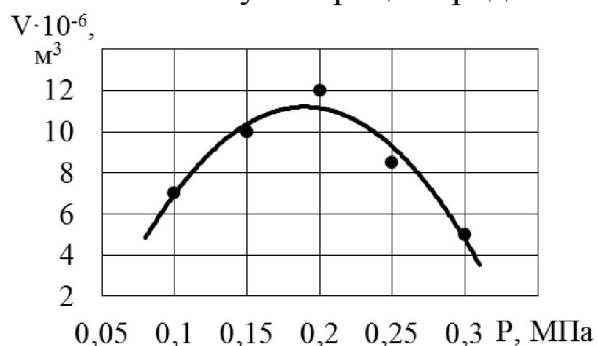


Рис. 9. Приріст об'єму тістової заготовки відносно контрольного зразка в залежності від надлишкового тиску.

Приріст об'єму тістової маси, яка була під навантаженням, відносно звичайного бродіння в залежності від тривалості навантаження зображено на рис. 8. Отримана залежність описується:

$$V = -0,035 \cdot \tau^2 + 1,37 \cdot \tau - 4,5 \quad (7)$$

де τ – тривалість бродіння під тиском хв.

Дана залежність дає можливість визначити раціональний час перебування тіста під надлишковим тиском в агрегаті

Проте при тиску 0,2 МПа приріст об'єму був найбільший, кількість розчиненого CO_2 була достатня для розрихлення. Залежність приросту об'єму від надлишкового тиску (рис. 9.) описується рівнянням:

$$V = 207 \cdot P - 500 \cdot P^2 - 11 \quad (8)$$

де P – надлишковий тиск, МПа.

Дана залежність дає можливість визначити раціональний надлишковий тиск.

Механічний вплив при замішуванні та утворенні тіста є одним із шляхів прискорення його дозрівання. Вплив ступеня механічної обробки пшеничного тіста на процеси, що відбуваються в ньому і на якість готових виробів визначали рядом відповідних досліджень.

Було проведено дослідження впливу роботи на питомий об'єм готових виробів.

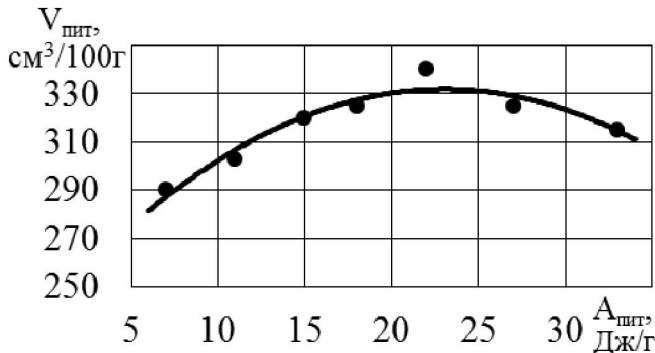


Рис. 10. Вплив роботи витраченої під час замішування на питомий об'єм готових виробів.

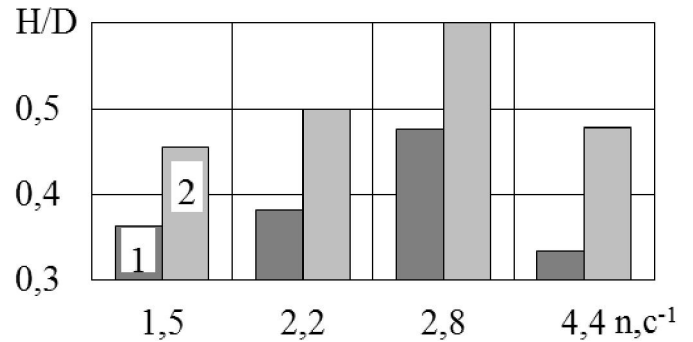


Рис. 11. Співвідношення висоти до діаметра тістової заготовки після формування (1) та випікання (2), при різній частоті обертання робочих органів.

Встановлено, що зі збільшенням витрат роботи на заміс до 25 Дж/г, об'єм зростає (рис. 10), а далі спостерігалось зменшення об'єму готових виробів. Найбільший об'єм, правильну форму і гладка поверхня спостерігалася при витратах роботи 22 – 25 Дж/г. Залежність описується формулою:

$$V_{\text{пит}} = 7,7 \cdot A_{\text{пит}} - 0,2 \cdot A_{\text{пит}}^2 + 242 \quad (9)$$

де $A_{\text{пит}}$ – питома робота замішування, Дж/г.

Отже, застосування інтенсивної механічної обробки тіста під час замішування з витратами роботи до 25 Дж/г призводить до покращення структурно-механічних властивостей тіста і збільшення об'єму. Надмірна витрата енергії на заміс до 35 Дж/г негативно впливає на якість напівфабрикатів, призводить до зменшення об'єму, неправильної форми і шорсткої поверхні.

Збільшення об'єму тіста та хліба (рис. 11) пояснюється тим, що під час замішування в тісті утворюється велика кількість маленьких пор, а вуглекислий газ, що виділявся під час бродіння не утворював нових пор, а проникаючи у існуючі, збільшував їх, що слугувало гарному розрихленню тіста. Встановлено, що питомий об'єм тістової заготовки також збільшується і корелює з газоутримувальною здатністю, найкращі показники при витратах енергії 22 – 25 Дж/г.

На основі проведених теоретичних досліджень запропонована конструкція робочих органів (рис. 12), які розміщені попарно в коритоподібній місильній ємності, що обертаються назустріч. Дослідження виконувались шляхом імітаційного моделювання процесу замішування.

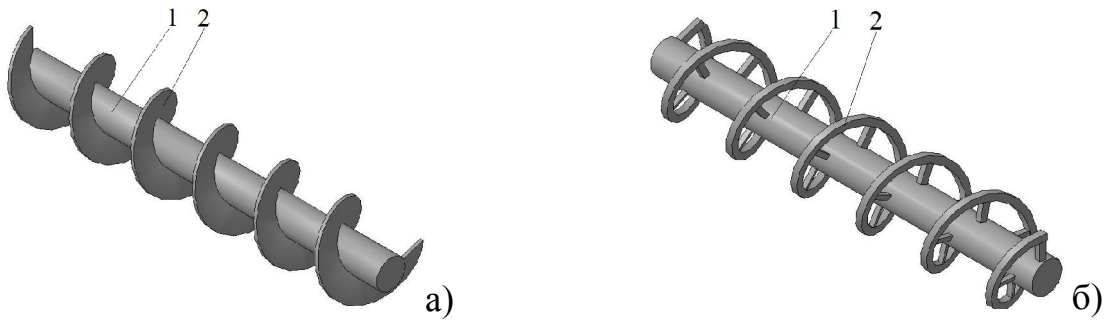


Рис. 12. Робочі органи для дослідження: а)- шнековий, 1-вал, 2-шнекова навивка; б)- стрічковий, 1-вал, 2-стрічкова навивка.

Аналізуючи отримані дані (рис. 13) можна стверджувати, що на витрати питомої роботи значний вплив мають як частота обертання так і конструкція робочих органів. Збільшення частоти приводить до збільшення витрат питомої роботи, але після перевищення 2с^{-1} відбувається зменшення витрат. Це пояснюється тим що на початку замішування утворюється нееластична маса з обмеженою здатністю затримувати газ. Під час подальшого замішування внаслідок часткового руйнування дисульфідних та інших зв'язків відбувається деполімерізація клейковинних білків. Структура клейковинного каркасу перебудовується, інтенсифікуються осмотичні процеси, підвищується кількість зв'язаної білками води, в результаті чого тісто стає більш сухим на дотик, еластичним, плівки клейковини набувають здатності затримувати вуглекислий газ.

Частина білків набухає необмежено і переходить у стан в'язкого колоїдного розчину. Після цього в результаті поглиблення процесів ферментативної та механічної дезагрегації білків, які переважають у цей період процеси набухання, відбувається поступове розрідження консистенції тіста. В тіста зменшується в'язкість, що призводить до зменшення витрат питомої роботи.

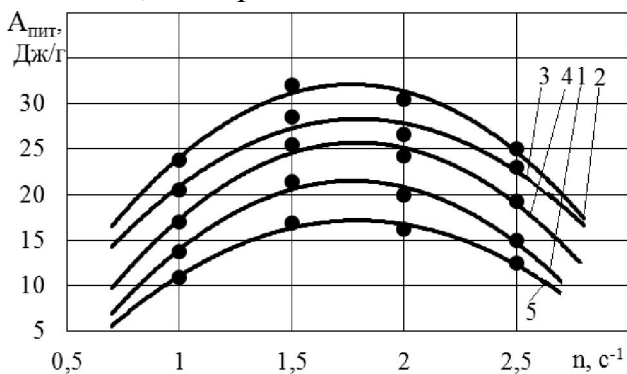


Рис. 13. Залежність витрат питомої роботи від частоти обертання шнекового робочого органу при кроковій витка: 1 – 0,035м; 2 – 0,0475м; 3 – 0,050м; 4 – 0,0575м; 5 – 0,065 м.

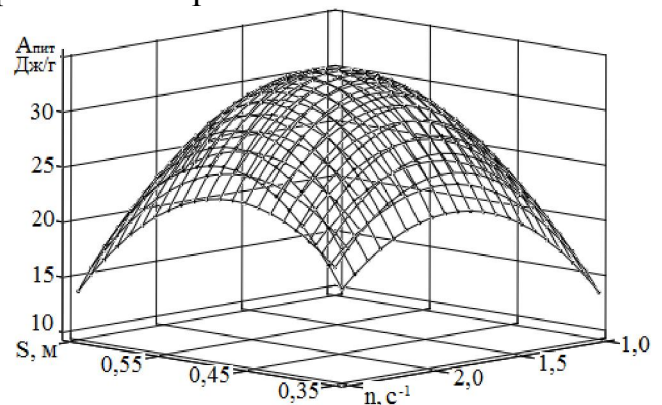


Рис. 14. Поверхня відгуку залежності витрат питомої роботи від кроку витка та частоти обертання шнекового робочого органу.

Узагальнивши результати дослідження залежності витрат питомої роботи від частоти обертання та кроку шнекового робочого органу, отримано поверхню відгуку (рис. 14.), що описується залежністю:

$$A_{num} = (157 \cdot S^2 - 151 \cdot S + 22) \cdot n^2 - (585 \cdot S^2 - 579 \cdot S + 83) \cdot n - 22 \quad (10)$$

де A_{num} – питома робота замішування, Дж/г; S – крок шнека, м; n – частота обертання робочого органу, c^{-1} .

Залежність, що наведена вище, слугує для визначення раціональних геометричних параметрів та частоти обертання робочого органу, які забезпечать параметри якості тістової маси, що належать до відповідної стадії замішування.

Аналогічно отримані та побудовані залежності витрат питомої роботи від частоти обертання та кроку стрічкового робочого органу (рис. 15, 16.)

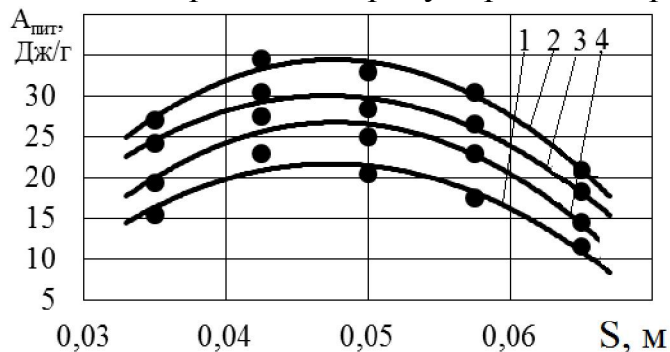


Рис. 15. Залежність витрат питомої роботи від кроку витка стрічкового робочого органу при частоті обертання: 1 – 1с-1; 2 – 1,5с-1; 3 – 2с-1; 4 – 2,5 с-1.

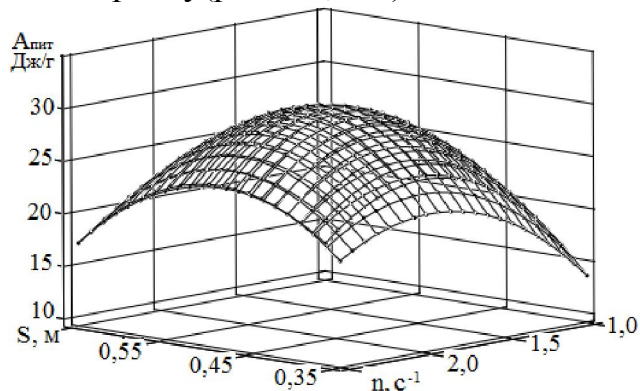


Рис. 16. Поверхня відгуку залежності витрат питомої роботи від кроку витка та частоти обертання стрічкового робочого органу.

Поверхня описується рівнянням:

$$A_{num} = (142 \cdot S^2 - 156 \cdot S + 25) \cdot n^2 - (494 \cdot S^2 - 491 \cdot S + 74) \cdot n - 14 \quad (11)$$

де A_{num} – питома робота замішування, Дж/г; S – крок стрічки, м; n – частота обертання робочого органу, c^{-1} .

Для визначення геометричних параметрів решітки, яку ми пропонуємо встановити на виході із робочої камери, для забезпечення інтенсифікації та пластифікації тіста, використовуємо програмну систему Plast-002. Методика досліджень заснована на інформаційних технологіях проектування (ІТП) процесів пружно-в'язко-пластичного деформування тиксотропних дисперсних матеріалів.

Для визначення раціональних параметрів руху тістової маси розроблена методика, яка враховує всі основні конструктивно-технологічні параметри, а саме: діаметр і довжину отворів решітки; структурно-механічні характеристики сировини.

Під час дослідження основних закономірностей процесу руху тістової маси в решітці створена кінцево-елементна модель (рис. 17).

де P_n – надлишковий тиск, Па; P_{np} – тиск протидії, Па; d – діаметр отвору, м; h – товщина решітки, м. Сітка трикутних елементів нерівномірна, оскільки найбільший інтерес викликає поведінка тістової маси у отворі решітки, саме в ньому розмір скінченних елементів найменший.

Оскільки третя стадія процесу замішування супроводжується структурними змінами крохмальних частинок і створенням клейковинної решітки, яка охоплює крохмальні зерна. Тому доцільним є визначення розподілу напружень які виникають в тістовій масі та призводять до руйнування молекул.

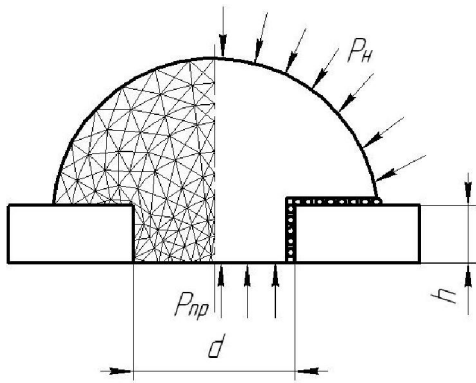


Рис. 17. Розрахункова та скінченно-елементна модель руху тістової маси через отвір решітки.

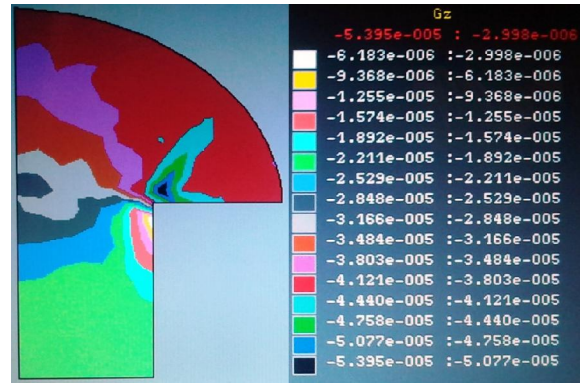


Рис. 18. Розподілення в об'ємі матеріалу осьових напружень, МПа у фіксований момент часу руху тіста в отворі решітки.

З рис. 18 видно, що розподіл осьових напружень спостерігається на вході в отвір решітки, на виході вони вирівнюються, відбувається релаксація тістової маси і формується структура пористості.

В результаті обробки даних експериментів отримано рівняння регресії, яке описує залежність розподілу напруження, яке виникає в тісті, від тиску та геометричних розмірів отвору решітки, а саме довжини та діаметра:

$$G_z = 120 + 14500Pd + 2500Ph + 1175000dh - 185P - 12475d - 16650h \quad (12)$$

де G_z – розподіл напруження, МПа; d – діаметр, м; h – довжина отвору, м.

Результати проведених обчислювальних експериментів дозволили: дослідити кінетику руху тіста в решітці; тиск на решітку з боку сировини; розподіл тиску в об'ємі матеріалу, розподіл еквівалентних напружень. Визначено раціональні геометричні параметри решітки, які сприяють інтенсифікації процесу замішування тіста та пластифікації тістової маси на третій стадії замішування. Отримані результати доцільно використовувати в якості рекомендацій при організації технологічного процесу замішування тіста і конструюванні устаткування

У **четвертому розділі** приведені результати удосконалення конструкцій робочих органів, зокрема розроблений механізм регулювання інтенсивності (рис. 19) за рахунок встановлення, на виході із камери змішування, технологічної решітки – як нерухомого робочого органу. Конструкція комбінованого робочого органу (рис. 20) яка в поєднанні з решіткою забезпечує тристадійність процесу замішування.

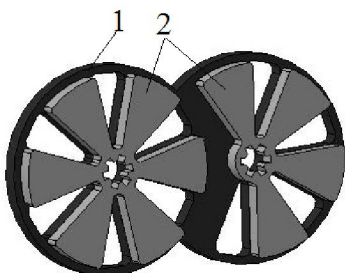


Рис. 19. Механізм регулювання інтенсивності замішування: 1-решітка, 2-регулювальна лопать

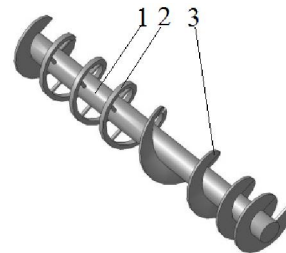


Рис. 20. Конструкція комбінованого робочого органу: 1-вал, 2-стрічкова навивка, 3-шнекова навивка

Також нами розроблений агрегат (рис. 21), який поєднує в собі технологічні операції інтенсивного змішування, бродіння під тиском та формування тістових заготовок.

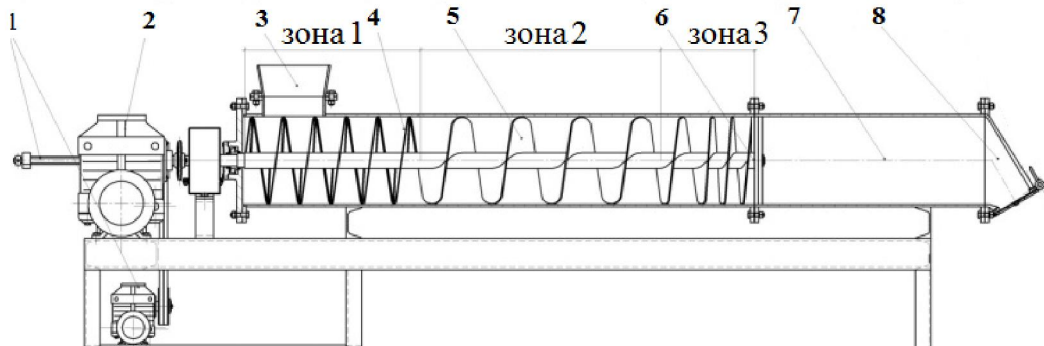
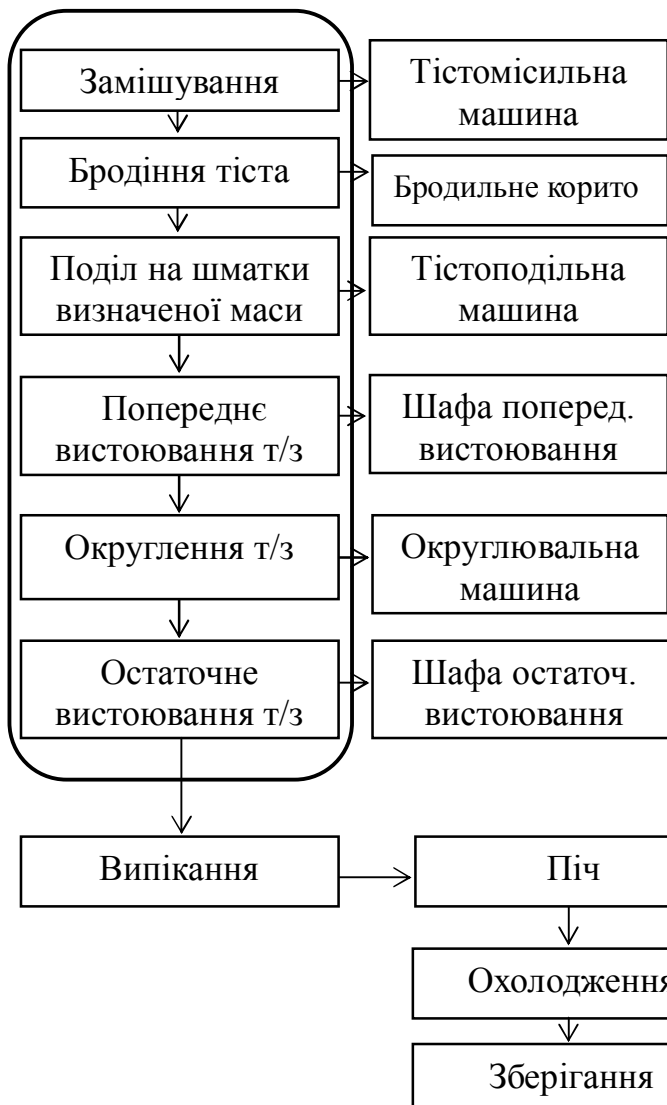


Рис. 21. Ескіз змішувально-бродильно-формувального агрегату: 1-механізм вивантаження, 2-привід, 3-приймальний бункер, 4-камера змішування, 5-робочий орган (2 шнеки), 6-механізм регулювання інтенсивності змішування, 7-ємність для виброджування тіста, 8-формувальний вузол.

Традиційний спосіб виробництва хлібобулочних виробів



Запропонований спосіб виробництва хлібобулочних виробів



Рис. 22. Схема лінії виробництва хлібобулочних виробів

Використання запропонованого способу виробництва хлібобулочних виробів в порівнянні з традиційним дає можливість виключити низку обладнання, спростити машино-апаратурну схему виробництва, скоротити тривалість виробничого процесу на 15 – 20%.

ВИСНОВКИ

На підставі узагальнення теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано доцільність і технологічну можливість використання інтенсивної механічної обробки тіста при замішуванні як одного із результативних методів поліпшення якості хліба, що дозволяє впливати на структурно-механічні властивості тіста під час замішування та виброджування.

Аналіз отриманих результатів досліджень дозволив зробити такі висновки:

1. Встановлено, що зміна структурно-механічних властивостей тіста визначається інтенсивністю замішування та подальшою стадією дозрівання, що становить єдиний процес.

2. Отримана залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву, яка описує поведінку тіста під час замішування і має вигляд $\eta_{ef} = 415 \cdot \gamma^{-0,47}$ та використовується під час імітаційного моделювання процесу замішування.

3. Отримано експериментальні залежності, які встановлюють взаємозв'язок між витратами питомої роботи на замішування та якісними показниками готових виробів.

4. Встановлено, що бродіння дріжджового тіста з точки зору досягнення ним структурно-механічних властивостей, характерних для вибродженого тіста, можна замінити інтенсивною механічною обробкою під час замішування та подальшим бродінням в закритому об'ємі під надлишковим тиском.

5. Визначені раціональні значення параметрів бродіння тіста під тиском в закритому об'ємі, необхідні для отримання якісної продукції, а саме тривалість бродіння 20хв., та тиск 0,2 МПа.

6. Побудовані математичні залежності витрат роботи на замішування від кроку та частоти обертання робочих органів, які рекомендовано використовувати під час конструювання обладнання.

7. Розроблено конструкцію робочих органів, які забезпечують тристадійність процесу замішування та позитивно впливають на якість тістових напівфабрикатів та готової продукції.

8. Обґрунтовано поєднання технологічних операцій інтенсивного замішування, бродіння під тиском та формування розрихлених тістових заготовок в цілісну систему приготування тістових напівфабрикатів;

9. Розроблено конструкцію змішувально-бродильно-формуального агрегату безперервної дії, в якому поєднані процеси інтенсивного замішування, бродіння та формування розрихлених тістових заготовок, який забезпечує потоковість та безперервність виробництва а також скорочує тривалість виробничого процесу на

15-20%. (Патент України на винахід № 101081, Патент на корисну модель № 76221).

10. Запропоновано машино-апаратурна схема виробництва хлібобулочних виробів із застосуванням змішувально-бродильно-формуального агрегату, яка дозволяє організувати потокове механізоване виробництво, інтенсифікувати процес приготування тіста, зменшити виробничі площі, витрати на утримання і експлуатацію обладнання, тривалість процесів і, як наслідок, собівартість виробів. Розрахунок економічної ефективності підтверджує ефективність впровадження результатів досліджень

11. Результати досліджень впроваджені у навчальний процес Національного університету харчових технологій і використовуються на лабораторних заняттях з дисциплін "Технологічне обладнання галузі", "Технологічне обладнання харчових виробництв" для студентів напрямку підготовки 7(8).05050313 "Обладнання переробних і харчових виробництв", а також в курсовому, дипломному проектуванні та магістерських роботах.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Особливості течії газонаповненого тіста в циліндричному формуальному каналі / О.І. Кравченко, Ю.С. Теличкун, В.І. Теличкун [та інші] // Харчова промисловість. – 2012. – №12. – С. 141-145

Особистий внесок дисертанта: проведення експериментів, підготовка матеріалів до друку.

2. Kravchenko O. Perfection of equipment for improvement of dough semi finished / O. Kravchenko, Yu. Telychkun, V. Telychkun // Ukrainian Journal of Food Science. – 2014. – Volume 2, Issue 1. – P. 80 – 88. (стаття у фаховому виданні України, яке включено до міжнародних науко метричних баз Google Scholar, Index Copernicus, DRJI, Universal Impact Factor, EBSCO, Directory of Open Access scholarly Resources)

Особистий внесок дисертанта: аналіз джерел літератури, проведення експериментів, формулювання результатів і висновків.

3. Кравченко О. Інтенсивне замішування тіста – запорука якості хліба / О. Кравченко, Ю. Теличкун, В. Теличкун // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2014. – №12(121) грудень. – С. 6 – 10.

Особистий внесок дисертанта: проведення експериментів, підготовка матеріалів до друку.

4. Modelling of process in twin-screw dough-mixing machines / O. Kudinova, O. Kravchenko, I. Lytovchenko [and oth.] // Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies. – 2014. – №5. – P. 64 – 68.

Особистий внесок дисертанта: проведення досліджень, узагальнення результатів, написання статті.

5. Кравченко О.І. Дослідження процесу бродіння дріжджового тіста під тиском / О.І. Кравченко, М.Г. Десик, Ю.С. Теличкун, В.І. Теличкун // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2015. – №07-08(128-129) липень-серпень. – С. 19 – 22.

Особистий внесок дисертанта: проведення експериментів, підготовка матеріалів до друку.

Патенти винахід на корисні моделі України:

6. Патент України на винахід №101081, МПК А21С 1/06 А21С 1/14 А21С 11/16; Змішувально-бродильно-формульний агрегат/ В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун, М.Г.Десик, О.І. Кравченко; заявник НУХТ. – № а201108486; Заявлено 06.07.2011; Опубліковано 26.03.2012, бюл. №6.

Особистий внесок дисертанта: патентний пошук, розроблення конструкції обладнання узагальнення результатів, підготовка матеріалів до патентування.

7. Патент на корисну модель №76221 Україна, МПК А 21С1/08, А21С/13/00; Змішувально-бродильно-формульний агрегат/ В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун, О.І. Кравченко, М.Г.Десик; заявник НУХТ. – № u201207590; Заявлено 20.06.2012; Опубліковано 25.12.2012, бюл. №24

Особистий внесок дисертанта: патентний пошук, підготовка матеріалів до патентування.

8. Патент на корисну модель №68251 Україна, МПК А 21С1/08, А21С/13/00; Змішувально-бродильно-формульний агрегат/ В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун, М.Г.Десик, О.І. Кравченко; заявник НУХТ. – № u201108495; Заявлено 06.07.2011; Опубліковано 26.03.2012, бюл. №6.

Особистий внесок дисертанта: патентний пошук, проведення експериментальних досліджень, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до патентування.

9. Патент на корисну модель №101769, МПК А21С 1/00; Тістомісильна машина / В.І.Теличкун, Ю.С.Теличкун, В.В. Рачок, М.Г.Десик, О.І. Кравченко, М.В. Честікова ; заявник НУХТ. – № u201503905; Заявлено 23.04.2015; Опубліковано 25.09.2015, бюл. №18.

Особистий внесок дисертанта: розроблення конструкції обладнання, підготовка матеріалів до патентування.

Матеріали та тези конференцій:

10. Кравченко О.І. Дослідження процесу накопичення вуглекислого газу в дріжджовому тісті при бродінні під надлишковим тиском / О. І. Кравченко, В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун // Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: програма і матеріали 77-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 11-12 квітня 2011р. – К. НУХТ, 2011 – С. 234.

Особистий внесок дисертанта: проведення експериментів, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до друку.

11. Кравченко О.І. Застосування шнекових змішувачів для інтенсифікації процесу обробки тіста / О. І. Кравченко, В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун, А. В. Марченко // Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: програма і матеріали 78-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 2 – 3 квітня 2012р. – К. НУХТ, 2012 – С. 452.

Особистий внесок дисертанта: літературний огляд, постановка задачі, проведення досліджень, написання тез доповіді, підготовка матеріалів до друку.

12. Кравченко А.И. Смесительно-бродильно-формующий агрегат / А. И. Кравченко, В. И. Теличкун, Ю. С. Теличкун // Пищевые инновации и биотехнологии: сборник материалов конференции студентов, аспирантов и молодых ученых под общ. ред. А.Ю. Просекова; ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности». – Кемерово, 2013. – С. 734 – 737.

Особистий внесок дисертанта: обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

13. Кравченко О.І. Застосування програмного комплексу flow vision для дослідження процесу замішування дріжджового тіста в тістомісильній машині безперервної дії / О. І. Кравченко, В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун, А. В. Марченко // Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: програма і матеріали 79-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 15 – 16 квітня 2013р. – К. НУХТ, 2013 – С. 790.

Особистий внесок дисертанта: проведення експериментів. проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

14. Кравченко А.И. Perfection of equipment for improvement of rusk wares / А. И. Кравченко, В. И. Теличкун, Ю.С. Теличкун // Integrated systems for agri-food production SIPA 2013: сборник материалов международной научно-практической конференции, 26-29 сентября 2013 р. – Sibiu. 2013. – С. 99

Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних.

15. Кравченко А.И. Усовершенствование процессов замеса и формирования дрожжевого теста / А. И. Кравченко, В. И. Теличкун, Ю. С. Теличкун, Н. Г. Десик // Инновационное развитие малых городов России: научный, технологический и образовательный потенциал: сборник материалов международной научно-практической конференции, 31 октября 2013 г. – Мелеуз – 2013. – С. 366.

Особистий внесок дисертанта: підготовка матеріалів до публікації.

16. Кравченко О.І. Вплив роботи витраченої під час замішування на якість дріжджового тіста / О. І. Кравченко, В. І. Теличкун, // Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: програма і матеріали 80-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 10 – 11 квітня 2014р. – К. НУХТ, 2014 – С. 760.

Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

17. Кравченко А.И. Исследование процесса брожения дрожжевого теста под давлением в закрытой емкости / А. И. Кравченко, В. И. Теличкун, А. А. Губеня // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сборник материалов международной научно-практической конференции, 16 мая 2014 г. – Гродно. ГГАУ, 2014. – С.196

Особистий внесок дисертанта: постановка задачі, проведення досліджень, підготовка матеріалів до друку.

18. Кравченко А.И. Исследование качества дрожжевого теста в зависимости от удельной работы замеса / А. И. Кравченко, В. И. Теличкун, Ю.С. Теличкун // Инновационные технологии в пищевой промышленности: сборник материалов международной научно-практической конференции, 1 – 2 октября 2014 г. – Минск. ИВЦ Минфина, 2014. – С.344

Особистий внесок дисертанта: аналіз літературних джерел, підготовка матеріалів до друку.

19. Кравченко О.І. Визначення впливу витрат енергії під час замішування дріжджового тіста на якість готових виробів / О. І. Кравченко, В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун // Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчової промисловості: програма і матеріали міжнародної наукової конференції, 13-17 жовтня 2014 р. – К.: НУХТ, 2014.– С. 860

Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

20. Кравченко А.И. Влияние интенсивности замеса на качество дрожжевого теста / А. И. Кравченко, В. И. Теличкун, Ю.С. Теличкун // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник материалов международной научно-практической конференции, 23-24 октября 2014 г. Минск. БГАТУ, 2014. – С. 372

Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

21. Кравченко О.І. Математичне моделювання процесу замішування тіста в машинах безперервної дії / О. І. Кравченко, Ю.С. Теличкун, В. І. Теличкун, // Наукові здобутки молоді-вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: програма і матеріали 81-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 23 – 24 квітня 2015р. – К.: НУХТ, 2015р. – Ч2. – 530с.

Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка матеріалів до публікації.

АНОТАЦІЯ

Кравченко О.І. Інтенсифікація процесу та вдосконалення обладнання для замішування дріжджового тіста. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2016.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню процесу замішування пшеничного дріжджового тіста та визначенню раціональних геометричних параметрів робочих органів тістомісильних машин безперервної дії.

Розроблена експериментальна установка та проведено фізичне моделювання процесу замішування. Аналіз отриманих результатів дозволив побудувати функціональні залежності в'язкості тіста від швидкості деформації та питомої роботи, які використані в подальшому при імітаційному моделюванні.

Досліджено процес бродіння тіста під тиском та визначені раціональні значення параметрів процесу – тривалість бродіння 20 хвилин та тиск 0,2МПа.

Проведено імітаційне моделювання процесу замішування і в результаті проаналізовано вплив виду та геометричної форми робочого органу на ефективність замішування.

В результаті виконання досліджень отримані раціональні параметри режимів роботи та розроблена конструкція місильного органу. Запропонована конструкція змішувально-бродильно-формуального агрегату безперервної дії в якому поєднані технологічні операції інтенсивного замішування, бродіння під тиском та формування розрихлених тістових заготовок, що дозволяє скоротити виробничий процес на 15 – 20%.

Ключові слова: замішування, тісто, тістомісильна машина, моделювання, шнековий робочий орган.

АННОТАЦИЯ

Кравченко А.И. Интенсификация процесса и совершенствование оборудования для замешивания дрожжевого теста. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – Процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2016.

Диссертационная работа посвящена исследованию интенсификации процесса замешивания пшеничного дрожжевого теста и определению рациональных геометрических параметров рабочих органов тестомесильных машин непрерывного действия

Разработаны экспериментальные установки и проведено физическое моделирование процесса замешивания. Анализ полученных результатов позволил построить функциональные зависимости вязкости теста от скорости деформации и удельной работы, которые использованы в дальнейшем при имитационном моделировании процесса замешивания.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить зависимость эффективной вязкости, изучаемого нами теста, от продолжительности брожения в зависимости от расхода удельной работы на замешивание теста. Анализ зависимостей показал, что вязкость теста снижается с увеличением удельной работы, затраченной на замешивание теста. Интенсивное механическое воздействие приводит к ослаблению взаимодействия между отдельными частицами теста. Итак, длительное брожение дрожжевого теста с точки зрения достижения им структурно-механических свойств, характерных для выброженного теста, можно заменить интенсивной механической обработкой во время замешивания.

Нами проведены исследования зависимости газообразующей и газодерживающей способностей от расходов удельной работы на замешивание. Интенсивная механическая обработка теста, во время замеса, влияет на дальнейшее брожение полуфабрикатов. С увеличением затрат энергии увеличивается суммарное количество углекислого газа которое выделяется во время брожения, объясняется усилением действия амилалитических ферментов и их влиянием на крахмальные зерна теста. Кроме того, интенсификация механического воздействия способствует

равномерному распределению в тестовой массе дрожжевых клеток и образованию большого количества центров газообразования.

Изучены закономерности влияния интенсивного замеса на количество и качество клейковины. Установлено, что количество клейковины уменьшается, но вместе с тем увеличивается ее гидратационная способность, кроме того она укрепляется.

Исследован процесс брожения теста под избыточным давлением и установлено, что после снятия нагрузки с теста наблюдается увеличение его объема. Объем заготовок, находящихся под давлением превышает объем контрольного образца на 10 – 15%, тем самым подтверждается положительное влияние давления на процесс брожения. При давлении 0,2 МПа и времени 20 мин, прирост объема был самый большой, количество растворенного CO_2 было достаточно для разрыхления.

Проведено имитационное моделирование процесса замешивания, которое учитывает все основные конструктивно-технологические параметры и структурно-механические характеристики сырья, которые определены во время проведения физических экспериментов. Полученная зависимость удельной работы от частоты вращения и шага витка шнекового и ленточного рабочих органов, позволяет определить их рациональные конструктивные параметры. Также проведение вычислительных экспериментов позволило: исследовать кинетику движения теста в решетке; давление на решетку со стороны сырья; распределение давления в объеме материала, распределение эквивалентных напряжений. В результате чего определены рациональные геометрические параметры решетки, которые способствуют интенсификации процесса замеса теста и пластификации тестовой массы.

В результате выполнения исследований получены рациональные параметры режимов работы и разработана конструкция месильного органа. Предложенная конструкция смесительно-бродильно-формующего агрегата непрерывного действия, в котором объединены технологические операции интенсивного замеса, брожения под давлением и формирования разрыхленных тестовых заготовок.

Предложена схема производства хлебобулочных изделий с применением смесительно-бродильно-формующего агрегата, которая позволяет организовать потоковое механизированное производство, интенсифицировать процесс приготовления теста, уменьшить производственные площади, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, длительность процессов, что позволяет сократить производственный процесс на 15 – 20%. Расчет экономической эффективности подтверждает эффективность внедрения результатов исследований.

Ключевые слова: замешивание, тесто, тестомесильная машина, моделирование, шнековый рабочий орган.

ABSTRACT

Kravchenko A.I. Intensification of process and perfection of equipment for mixing of the yeast dough. - Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences on a speciality 05.18.12 – Processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical productions. – National university of food technologies, Kyiv, 2016.

The dissertation is devoted to the study of the process mixing of the yeast dough and rational determination of geometric parameters of working continuously action mixing machines.

The developed experimental setup and conducted the physical modeling mixing of process. Analysis of the results allowed us to build a functional dependence of the viscosity of the dough from the strain rate and the specific work, which are used later in imitation modeling.

The process of fermenting dough under pressure was investigated and find a rational parameters of the process – duration fermentation of 20 minutes duration. and the pressure of 0,2MPa.

Imitation modeling of the process of mixing was carried out and analyzed the influence of the form and the geometric shape of the working body on the effectiveness of mixing. As a result of research identified by rational parameters and modes of operation and suggested the design of mixing body. The proposed design of the mixing and fermentation and continuous molding unit which combines the processes of intensive mixing, fermentation and the formation of loose dough, reducing the production process by 15-20%.

Keywords: mixing, dough, mixing machine, modeling, screw working body.