

Стадник Ігор Ярославович

УДК 664.553.1

Науково-технічні основи процесів та розробка обладнання для безлопатевого
замішування тіста

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та
фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій та в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

- Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Лісовенко Олексій Тимофійович,
Національний університет харчових технологій,
професор кафедри машин та апаратів харчових і
фармацевтичних виробництв
- Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мирончук Валерій Григорович,
Національний університет харчових технологій,
завідувач кафедри технологічного обладнання та
комп'ютерних технологій проектування
- доктор технічних наук, професор
Сухенко Юрій Григорович,
Національний університет біоресурсів і
природокористування України, завідувач
кафедри процесів і обладнання переробки
продукції АПК
- доктор технічних наук, професор
Паламарчук Ігор Павлович,
Вінницький національний аграрний університет,
завідувач кафедри процесів та обладнання
переробних і харчових виробництв
імені професора П.С. Берника

Захист відбудеться 6 лютого 2013 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м.Київ, вул. Володимирська, 68, аудиторія А-311

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м.Київ, вул. Володимирська, 68

Автореферат розісланий 20 грудня 2012р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,

кандидат технічних наук, доцент
Володіна

Л.О. Кривопляс-

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Потреба у виконанні наукових досліджень у харчовій промисловості виникає з необхідністю інтенсифікувати й оптимізувати технологічні процеси, а також є результатом реагування виробників на зміни споживацьких смаків, що відповідають соціальним та економічним тенденціям розвитку країни. На сьогодні багато уваги приділяється питанням впливу харчових продуктів на здоров'я людини та ціни виробів. Отримати продукцію з якісними харчовими властивостями можна за рахунок розроблення науково-технічних основ удосконалення технологічного процесу й обладнання. У наукових роботах, присвячених поліпшенню традиційних технологій і створенню нових енерго- та ресурсозберігуючих виробництв, значна увага приділяється процесові замішування тіста, що є основою технологічного процесу виготовлення хлібобулочних виробів. Значним внеском є праці фахівців НУХТ: д.т.н. Лісовенка О.Т., д.т.н. Ковбаси В.М., к.т.н. Литовченка І.М., к.т.н. Теличкуна В.І. та інших.

Низька ефективність більшості існуючих способів приготування тіста обґрунтована розробленням і впровадженням нових, досконалих способів приготування тіста, що дозволяють збільшити продуктивність праці, покращити якість продукції й ефективність виробництва шляхом скорочення тривалості процесу та відповідних затрат. Усе ж не всі питання даного напрямку достатньо вивчені. У наявних публікаціях подано небагато даних, що розкривають механізм впливу конструкції робочих органів і робочої камери тістомісильної машини на масообмін у системі тверде тіло – рідина під час замішування, відсутні дослідження щодо кінетики пластифікації та закономірностей перебігу процесу замішування під впливом тиску. Переважна більшість класичних і сучасних робіт, присвячених гідродинаміці руху рідини при замішуванні, розглядає широке коло питань щодо динаміки руху, проте механізм керування цього руху, що ініціює, детально не розглядається. Ще й досі тісто із заданими властивостями отримується шляхом емпіричного підбору режимів замішування і співвідношення рецептурних компонентів. Це пояснюється, насамперед, складністю урахування факторів впливу на процес замішування, а також різними значеннями структурно-механічних характеристик тістових напівфабрикатів, поданих у науковій літературі. Отже, конструктивне проектування нових видів машин і оптимізація виробництва вимагає поглибленого теоретичного дослідження процесів, що відбуваються при замішуванні тіста.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано згідно із завданнями, викладеними у плані науково-дослідницьких та дослідно-конструкторських розробок Міністерства аграрної політики України (наказ №164 від 20.03.08р. «Про затвердження галузевої програми розвитку хлібопекарської галузі на період до 2015р.». Робота відповідає науковому напрямку кафедри «Машини і апарати харчових та фармацевтичних виробництв» відповідно до науково-дослідної теми Національного університету харчових технологій, а саме “Дослідження робочих процесів технологічного обладнання підприємств хлібопродуктів з метою їх інтенсифікації та створення

високоєфективного обладнання”, керованої академіком Лісовенком О. Т. Поряд з цим дисертаційна робота виконувалась відповідно наукового напрямку кафедри “Обладнання харчових технологій” ТНТУ імені Івана Пулюя “Інтенсифікація технологічних процесів харчових виробництв шляхом використання новаційних методів замішування тіста” і госпрозрахункової теми «Визначення біологічно активних пептидів з продуктів ферментативного розщеплення білків молока» РК 0110U002267. Крім того, основні положення роботи пов’язані з виконанням науково-дослідних договорів про творчу співпрацю Тернопільського ДТУ імені Івана Пулюя з ТзОВ «Микулинецький БРОВАР» (договір №11 від 14.02.2006р.), ТзОВ «Бучачхлібпром» (договір №1 від 16.01.2006р.). У вказаних роботах автором особисто розроблені конструкції, проаналізовані математичні моделі ПВП (пластифікатора) і валкового нагнітача для технологічних машин; створені експериментально-промислової моделі машини безлопатевого замішування тіста (ДБТМ); обґрунтуванні її режимів.

Мета і завдання дослідження вироблення нових теоретичних методів дослідження та основ механізму дії конструктивних особливостей безлопатевого робочого органу та багатогранної циліндричної робочої камери у масообмінних процесах при замішуванні тіста у псевдошарі з урахуванням конструктивно-технологічних та просторово-часових параметрів вібрації, пластифікації з збереженням необхідного рівня якості тіста, а також науково-технічне обґрунтування параметрів та експериментальне підтвердження на їх основі ефективної конструкції дискретної безлопатевої тістомісильної машини.

Для досягнення даної мети були поставлені такі основні завдання:

- проаналізувати та узагальнити динаміку зміни основних параметрів механічної дії на процес замішування та обґрунтувати механізм їхнього впливу на компоненти;
- розвинути закономірності стадійності процесу замішування за умов зваженого стану і вібрації, механізму інтенсифікації та кінетики розчинення твердих тіл (борошна), що мають дифузійну природу розчинення;
- розробити узагальнений методологічний підхід для створення перспективних схем, математичних моделей та конструкцій безлопатевого замішування тіста за умови енергозбереження при інтенсифікації основних механічних процесів;
- дослідити закономірності впливу тиску в процесі пластифікації тіста, закономірності реологічних характеристик пшеничного дріжджового тіста, основні закономірності стадійності розподілу потужності в процесі замішування в умовах силового навантаження місильним барабаном на утворюване тісто, поведінку газової фази вибродженого тіста;
- обґрунтувати методику оптимізації конструктивно-технологічних параметрів процесу нагнітання тіста безлопатевим робочим органом і визначити оптимальний профіль формівного каналу;
- розробити й обґрунтувати математичну та кінематичну модель для прогнозування механізму пластифікації тіста і запропонувати шляхи інтенсифікації цього процесу;
- розробити та впровадити у виробництво експериментально-промислову безлопатеvu тістомісильну машину дискретної дії та запропонувати практичні пропозиції щодо її використання.

Об'єкт дослідження – процес замішування тіста в умовах безлопатевого органу.

Предмет дослідження – гідродинаміка за умов безлопатевого перемішування, механізм і кінетичні закономірності процесу тістоутворення та пластифікації, фізико-хімічні перетворення в тісті при обробленні та визріванні.

Методи досліджень – математичне, фізичне, комп'ютерне моделювання, лабораторні та промислові експерименти. Реологічні характеристики тіста методом ротаційної віскозиметрії; тривалість бродіння методикою нагромадження титрованої кислотності й збільшення об'єму. Опрацювання експериментальних даних і обчислення виконано за допомогою комп'ютерної техніки та прикладних програмних пакетів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробленні наукових методів, засобів інтенсифікації замішування тіста і створення математичних моделей вібраційних, деформаційних та масообмінних процесів, що забезпечує ефективне обґрунтування та розроблення теоретичних основ безлопатевого замішування і практичне дослідження стадійності процесу тістоутворення, визначення структурно-механічних властивостей і технологічних показників тіста хліба з метою їх раціональних значень.

Отримано такі нові наукові результати:

1. Систематизовано та обґрунтовано механізм стадійності процесу замішування тіста, напрямки розвитку конструкцій енергозберігаючих безлопатевих тістомісильних машин, як нового підходу до інтенсифікації процесів масоперенесення, перемішування і диспергування;

2. Розроблено методи та засоби ефективного взаємовпливу технологічних, структурно-механічних та конструктивних параметрів на визначення досконалості виконання інтенсивного процесу замішування тіста, що дозволяє створити наукові засади та основи керування раціонального проходження стадійності замішування за рахунок зміни конструктивних параметрів процесу та машини.

3. Встановлено основні закономірності фізичних процесів у робочій камері розроблених безлопатевих машин, що дозволило здійснити вибір та обґрунтування раціонального способу пасивного віброзбудження для процесу пластифікації тіста.

4. Досліджено та удосконалено динамічні закономірності процесу замішування тіста в тонкому шарі при контрольованих процесах перемішування у зважувальному стані пластифікації та обґрунтовано закономірності, які полягають у комплексній взаємодії рідкої і твердої фаз на великій поверхні безлопатевого циліндричного місильного органу і багатогранної робочої камери з пасивним вібраційним пристроєм (пластифікатор).

5. Розроблено математичну модель процесу дискретного безлопатевого замішування тіста, яка враховує особливості впливу деформації стискання, зсуву, кручення, витікання тіста через профільний отвір, що впливають із основних уявлень фізико-хімічної механіки.

6. Розроблено пасивний вібраційний пристрій для пластифікації тіста, використання якого дає позитивний технологічний ефект, впливає на реологічні характеристики тіста і сприяє кращій його пластичності.

7. Розроблено методику визначення раціональних технологічних параметрів течії тіста. Набули подальшого розвитку:

- закономірності процесу замішування у багатогранній циліндричній робочій камері машини на основі математичного моделювання деформаційного руху суміші компонентів безлопатевим робочим органом;
- вплив технологічного середовища (тіста) на пасивний вібраційний пристрій (пластифікатор) в умовах вібраційної дії;
- вплив тиску на процес замішування і реологічні характеристики тіста й кінцеві показники готової продукції – хліба;
- оцінювання методу інтенсифікації процесу замішування тіста у циліндричній робочій камері дискретної тістомісильної машини за рахунок конструктивних особливостей пластифікатора (пасивного вібраційного пристрою ПВП);
- методика проектування та конструювання процесів валкового нагнітання, дозування, формування технологічного середовища для реалізації в харчових і переробних виробництвах.

Практичне значення отриманих результатів. Полягає у розробленні та впровадженні методик і рекомендацій щодо науково обґрунтованих високоефективних та енергозберігаючих інноваційних технологій безлопатєвого замішування тіста, а також визначення раціональних режимів експлуатації.

1. Методика розрахунку характеристик в'язкопластичної течії, що дозволила визначити раціональні конструктивно-технологічні параметри окремих функціональних вузлів обладнання та видати рекомендації щодо їх конструювання.

2. Запропоновано нову економічно ефективну машинно-апаратну схему замішування тіста, в якій операції тістоутворення регулюються пластифікатором (ПВП). При цьому зменшуються виробничі площі, витрати на утримання й експлуатацію обладнання, тривалість процесу і, як наслідок, собівартість виробів.

3. Вироблено рекомендації щодо удосконалення інтенсифікації процесу замішування за рахунок його виконання у профільному каналі під стисканням. Дані про поведінку рідкої, твердої і газової фаз у різних умовах можна використовувати при проектуванні тістомісильних машин. Результати роботи використано на ТзОВ «Надзбруччя хліб» Підволочиська, ТзОВ «Тернопільхлібпром» Тернополя і на приватних підприємствах при виробництві хлібобулочних виробів з використанням експериментального зразка автора.

4. На основі отриманих експериментальних результатів вироблено технологічні рішення щодо удосконалення технології виробництва хлібобулочних виробів, що дозволить за 2,5-3,0 години отримати готову продукцію. Відповідні результати підтверджено актом випробувань на ТзОВ «Надзбруччя хліб». Якість виробів підтверджується протоколом аналізу і висновком державної санітарно-епідеміологічної експертизи.

5. Результати наукової роботи впроваджено у навчальний процес Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та відображено у навчальних програмах дисциплін «Методи інтенсифікації процесів

харчових виробництв”, “Технологічне обладнання хлібопекарських і бродильних виробництв”, “Технологічне обладнання мінівиробництв”.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану проблеми, обґрунтуванні й виробленні основної ідеї й теми дисертації, розробленні принципів побудови математичних моделей пружно-в'язко-пластичного стану тіста в робочій камері машини; розробленні концепції та принципів створення віброхвильових процесів та обладнання; виробленні наукових положень і методик експериментальних досліджень, формулюванні вихідних даних та граничних умов, створенні комп'ютерних моделей дослідження гідродинамічних рухів в'язких рідин у камері машини та у визначенні тиску; вивченні структурно-механічних властивостей тіста та показників готової продукції; обґрунтуванні соціально-економічної ефективності впровадження нової технології замішування, підготовленні й опублікуванні результатів досліджень; наданні відповідних рекомендацій виробникам хлібобулочної продукції, впровадженні й патентуванні проектів.

Математичне та фізичне моделювання проводив безпосередньо здобувач з частковим залученням наукових співробітників, магістрантів. Ряд досліджень з визначення різних способів замішування на властивості клейковини та реологічних характеристик тіста здійснено у співавторстві з працівниками виробничих лабораторій хлібо заводів Тернопільського №2 і Микулинецького. Впровадження результатів дисертаційної роботи здійснював безпосередньо здобувач. Усі винаходи, зроблені в ході виконання роботи, є результатом колективної творчості і базуються на дослідженнях здобувача.

Висловлюю подяку науковому консультантові д.т.н., проф. О.Т. Лісовенку за допомогу на всіх етапах виконання дисертаційної роботи.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідалися і обговорювалися на 10-й, 11-й, 12-й науково-технічних конференціях ТДТУ «Прогресивні технології і обладнання в машино- і приладобудуванні» (Тернопіль, 2007, 2008, 2009 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» ТНТУ імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2010 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи» НУХТ (м. Київ, 2010р.); Науково-технічному семінарі кафедри МАХВ (2011р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Хлібопродукти – 2009» ОНАХТ (м. Одеса, 2009 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Хлібопродукти – 2010» ОНАХТ (м. Одеса, 2010 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Теоретические и прикладные проблемы математики, механики и информатики» (Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, 2010р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології і обладнання харчових виробництв» ТНТУ імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2011 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості» НУХТ (м. Київ, 2012 р.). Нова конструкція

дискретної безлопатевої тістомісильної машини демонструвалася на Міжнародній агропромисловій виставці «Агро-2011».

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у наукових працях, з них: монографії – 1, статті у наукових фахових виданнях, рекомендованих ДАК України – 25, тез доповідей на наукових конференціях – 8, деклараційних патентів України – 8.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації викладено на 353 сторінках машинописного тексту, із яких основна частина охоплює 292 сторінки і містить 86 рисунків, 13 таблиць та додатки на 36 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі описано сучасний стан проблеми, обґрунтовано актуальність представленої роботи, сформульовано мету й завдання, відображено наукову новизну результатів, значення та практичну цінність запропонованих технічних рішень, вказано особистий внесок автора у виконання досліджень.

У першому розділі на підставі вітчизняного і зарубіжного досвіду розглянуто загальні принципи і способи замішування як способу інтенсифікації отримання однорідної маси. Проаналізовано процес замішування, визначено основні фактори, що впливають на його ефективність. Розкрито можливе розв'язання проблеми забезпечення підвищення інтенсивності замішування при вимушеному русі фаз гетерогенної системи, впливаючи, з одного боку, на властивості системи, а з іншого, – на конструкцію тістомісильних машин, що дозволяють рівномірно розподілити дисперсну фазу в гетерогенному середовищі.

Системний аналіз теоретичних та експериментальних досліджень показав, що для управління процесами структуроутворення дисперсних систем вирішальне значення має механічна дія, форма та інтенсивність якої здебільшого визначає умови технологічного процесу.

Докладно проаналізовано спосіб інтенсивного механічного впливу на тісто при замішуванні та встановлено, що не в усіх випадках він призводить до інтенсифікації технологічного процесу, але завжди пов'язаний з збільшенням витрат енергії і вартості устаткування. Встановлено, що робочі органи існуючих машин мають постійну і незмінну геометричну форму та регулююче число обертів приводного вала, що ускладнює кінематику машини, її обслуговування та управління. Це підтверджує, що процеси замішування вже досягли або наблизилися до своїх граничних параметрів і спроби подальшого їх прискорення за рахунок інтенсифікації роботи машин шляхом підвищення робочих параметрів може суттєво погіршити якість готових виробів. Оскільки тістоутворення відбувається за рахунок зміни лише структурного стану, то процес цих змін суттєво залежить від хімічного складу борошна і температурних режимів. Тому необхідно з'ясувати роль, вимоги до інтенсивності перемішування в даному технологічному процесі.

Таким чином, аналіз наявних конструкцій тістомісильних машин і результати теоретичних досліджень дозволяють зробити висновок, що умови інтенсифікації процесу при різних технологічних методах замішування суттєво відрізняються, їх вплив на якість тіста та хліба також різний.

Проте ще не всі аспекти, що виникають у неперервній фазі дисперсного середовища при просторовій та тимчасовій дискретизації енергії, до кінця зрозумілі. Практично відсутні дослідження, засновані на аналізах динаміки усього процесу замішування, методи і засоби інтенсифікації прискорення процесу. Недостатньо розкрито вплив вібраційної дії на тістоутворення.

З метою систематизації факторів, які впливають на процес замішування тіста, складено параметричні схеми підсистеми. Проведено їх аналіз і створено наукові засади та основи керування інтенсивним процесом замішування з рахунок максимальної ефективності зміни конструктивних параметрів процесу та машини. Такий підхід сприяє досягненню найбільш повного та раціонального використання стабільності процесу замішування в робочій камері машини.

У другому розділі на основі аналізу об'єктів досліджень було визначено основні проблеми процесу замішування. Встановлено, що нераціональний спосіб замішування тіста за допомогою місильних лопатей при підвищенні інтенсивності механічної дії призводить до нагрівання тіста, впливає на стабілізацію консистенції тіста, як основної характеристики способу.

Визначення тривалості замішування по загальних витратах енергії на привод мішалки є хибним, оскільки не враховує затрати теплоти, що відбирає водоохолоджувальна сорочка. Запропоновано усунення зазначених недоліків двома шляхами: вдосконаленням конструкції місильної лопаті й доведенням її ККД до 100%; оптимізацією гідродинаміки в місильній камері з доведенням енергії замішування до відповідності без нагрівання замішуваної маси.

Для формування науково обґрунтованого підходу до конструювання тістомісильних машин і вибору оптимальних експлуатаційних режимів роботи розглянуто теоретичні передумови застосування безлопатевого замішування та вибрано об'єкти і методи досліджень.

Вибір методик для виконання експериментів та інтерпретація результатів ґрунтується на положенні про те, що тістоутворення є наслідком досягнення локального деформування тіста в умовах силового навантаження, що визначається рівнем нормальних, дотичних напружень, швидкістю та динамікою руху суміші компонентів, динамічного тиску, що обґрунтовує фізичні основи інтенсифікації процесів масообміну та його практичне застосування у тістомісильних машинах.

Для реалізації поставлених завдань було спроектовано й виготовлено дискретну безлопатевою тістомісильну машину (ДБТМ, рис.1). Проектування і виготовлення конструкції виконано з урахуванням науково-технічних основ конструктивних особливостей процесу замішування безлопатевою робочим органом. Конструкція місильної камери та місильного органу, утворюють замкнений циліндричний профільний канал прямокутного перерізу з

різкими перепадами по товщині каналу. Важливу роль у місильній камері відіграє конструкція пасивного вібраційного пристрою (пластифікатора). Від його параметрів практично залежить увесь процес замішування: тривалість, інтенсивність, якість.

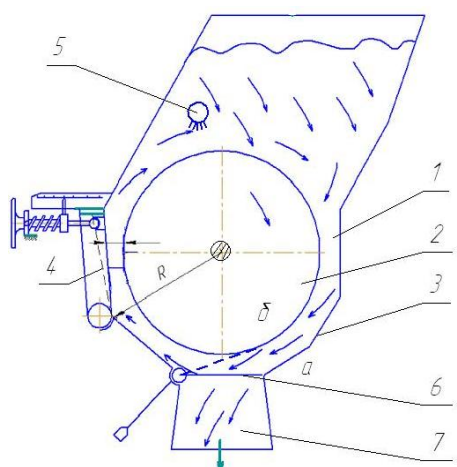


Рис. 1. Схема поперечного перерізу дискретної безлопатевої тістомісильної машини (ДБТМ): 1 – робоча камера; 2 – рифлений місильний барабан; 3 – боковини, виконані у вигляді багатогранника; 4 – пасивний вібраційний пристрій (ПВП) пластифікатор; 5 – подавач рідких компонентів; 6 – шибєр розвантаження; 7 – патрубок для розвантаження тіста

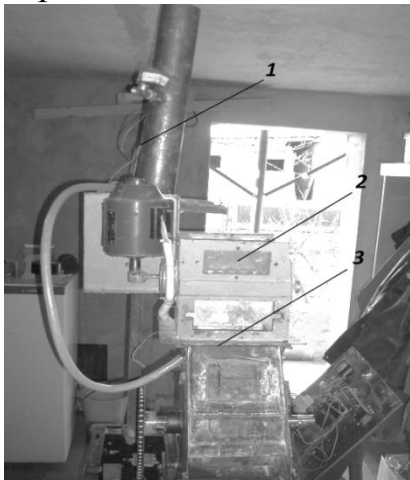


Рис. 2. Загальний вигляд експериментальної установки: 1 – мембранний дозатор рідких компонентів МДРК; 2 – вібродозатор борошна ВДБ; 3 – тістомісильна машина ДБТМ

Конструкція експериментальної установки ДБТМ (рис. 2) складається з тістомісильної машини дискретної дії, мембранного дозатора рідких компонентів (МДРК), вібродозатора борошна (ВДБ). Основні технічні характеристики установки ДБТМ, в якій ефективність реалізації методу інтенсивного безлопатевого замішування автор досліджував експериментально, наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Основні технічні характеристики розробленої ДБТМ

№ з/п	Назва	Номінальна продуктивність, кг/год	Електрична потужність, кВт	Габаритні розміри, мм	Маса, кг
1	ДТМ	130-150	1,2	210x380x400	7
2	МДРК	120-245	-	d=100, H=500	2
3	ВДБ	240-352	0,6	200x240x240	4

Науково-технічні основи процесів та розробка обладнання для безлопатевого замішування тіста

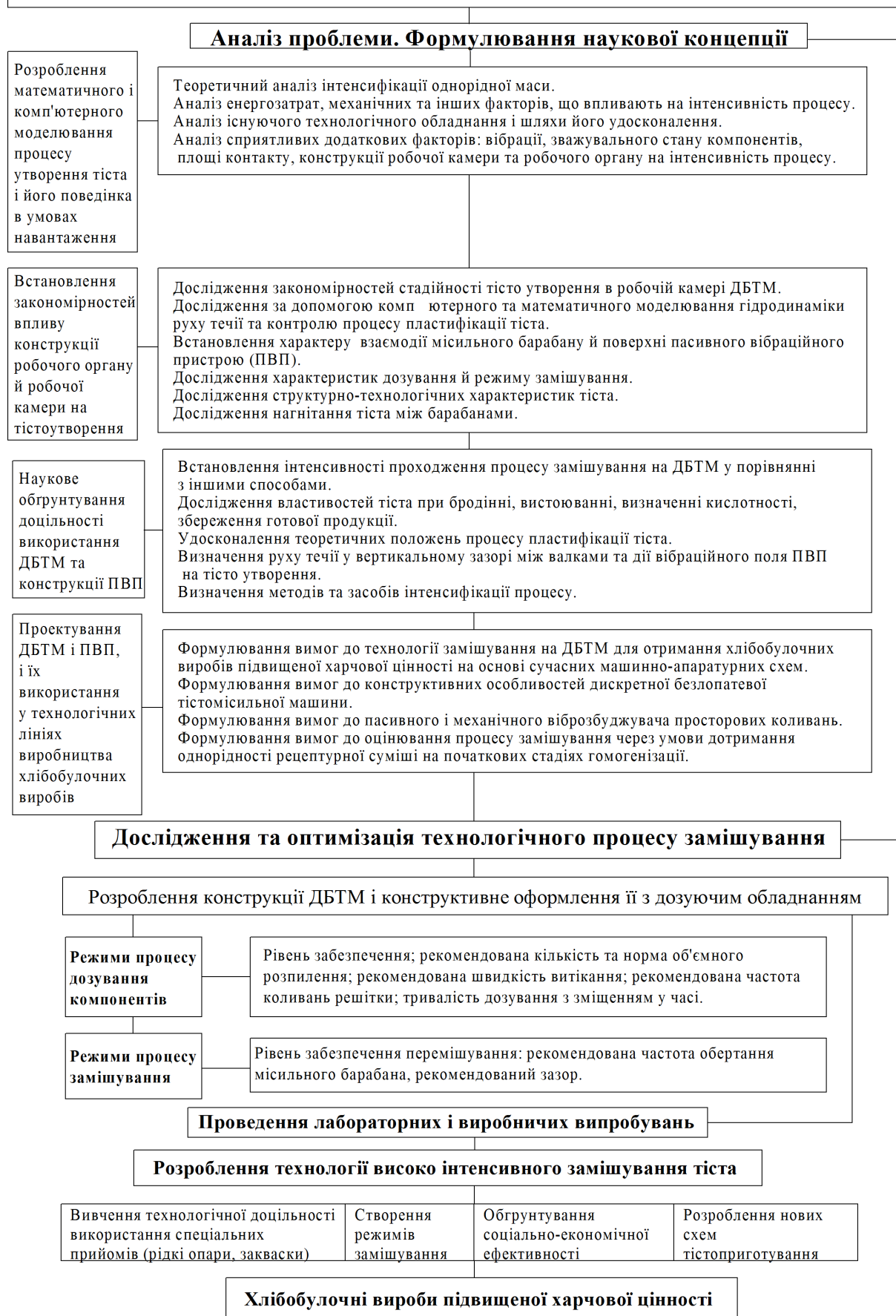


Рис.3. Схема комплексу досліджень

Машина працює так: спочатку встановлюють регулятор пасивного вібраційного пристрою 4 (ПВП, пластифікатор) на відповідний показник (залежновід якості борошна і рецептури), перемикають шибер розвантаження 7 в положення «а», вмикається привод місильного барабана і дозаторів через систему автоматичного керування. Замішування виконується внаслідок дії місильного барабана та гальмівних призматичних стінок боковини робочої камери 1 і регулятора пасивного вібраційного пристрою (ПВП), що забезпечує інтенсивне перемішування тіста і його раціональне переміщення на поверхні місильного барабана з невеликим зміщенням шарів та з стисненням і розширенням на окремих ділянках робочої камери, що формує структуру. Робоча камера уявно поділена на ділянки: релаксації, інтенсивного змішування, пластифікації.

На підставі вивчення взаємодії кількох процесів, характеру фазових перетворень, структури і властивостей тіста встановлено, що при кінцевій перевірці дії безлопатевого робочого органу в багатогранній робочій камері необхідно докладно обґрунтувати і дослідити ефективність цих дій. Для реалізації інтенсивного безлопатевого замішування було представлено експериментальне оснащення та методику досліджень механізму гідродинамічних, масообмінних, деформаційних процесів при тістоутворенні, якості напівфабрикатів і готових виробів.

Схема комплексу досліджень зображено на рис.3.

Вибрано методики опрацювання результатів, зокрема: математичне і комп'ютерне моделювання; показники якості сировини та готових виробів визначали за методиками, регламентованими стандартами; застосування спеціальних методів дослідження; регулювання та визначення структурно-механічних властивостей тіста; аналіз енергетичного балансу замішування; оцінювання похибок вимірювання.

У третьому розділі представлено результати наукового аналізу основних закономірностей процесу інтенсивної механічної обробки компонентів при замішуванні, обґрунтовано методи, засоби підвищення ефективності цих дій та тенденції удосконалення конструктивних, технологічних і техніко-економічних параметрів, що визначають досконалість функціонування тістомісильних машин.

Розроблено методи та засоби ефективного взаємовпливу технологічних, структурно-механічних та конструктивних параметрів на визначення досконалості виконання інтенсивного процесу замішування тіста, зокрема об'єктом досліджень стали схеми та характеристики механізму віброзбудження; кінематичні, силові та енергетичні параметри, що характеризують тістоутворення в робочій камері при безлопатовому замішуванні; динамічні параметри, що характеризують рух тіста в робочому просторі між безлопатовим робочим органом і живильним валком; вплив вібраційного поля при використанні пасивних вібраційних пристроїв.

Аналіз гідродинамічного стану в робочій камері і математичний опис протікання в них процесів дозволив на їх основі розробити та розрахувати раціональні конструктивно-технологічні параметри та елементи конструкції тістомісильної машини, що визначають якісну оцінку відповідного напрямку та реалізацію інтенсифікації процесу замішування.

Встановлено, що структури потоків компонентів, які складаються із зон з різними параметрами перемішування, з'єднані за принципом паралельного і послідовного надходження твердої і рідкої фаз, сприяють ефективності процесу та можуть характеризуватися як постійними, так і періодично змінними в окремі моменти часу. Такий нестаціонарний режим сприяє збільшенню ефективності змішування і продуктивності машини. Вирівнювання профілю швидкостей, регулювання процесом за рахунок збільшення керованих параметрів, сприяє покращенню якості тіста.

Реалізація гідродинамічних нестабільних режимів взаємодії фаз, що в основному спрямовані на отримання поверхні контакту та їх поверхневий розвиток, поля концентрацій і раціональної структури потоків взаємодіючих фаз, може бути реалізовано в робочій камері при імпульсній і циклічній зміні стиснення суміші компонентів, при дискретному введенні потоків фаз, дискретно-імпульсному введенні енергії робочим органом, коливальних режимах взаємодії фаз. Розроблена класифікаційна схема основних напрямів і відповідних методів інтенсифікації процесу замішування (рис.4).



Рис.4. Основні напрямки удосконалення конструктивних та технологічних схем для інтенсифікації процесу замішування

Для реалізації основних заходів замішування тіста неперервним потоком у процесі колового транспортування у багатогранній циліндричній робочій камері з ефектом вібрації, запропоновано використання безлопатевого робочого органу з насічками різного характеру. Площової поверхні міського барабану розраховується $F_{заз} = F_p + F_{\epsilon}$. При накатуванні (рихлі) $F_p = 0,785 \cdot (D^2 - d^2) \frac{2}{t_p}$

. Вільна від рихлів $F_{\epsilon} = 3,14 \cdot d_0 \left(1 - \frac{\delta}{t_p}\right)$,

де: d_0 - діаметр міського барабану по основі рихлів; D - діаметр по зовнішній поверхні насічок; δ - середня товщина ребра насічки, 0,2 мм; t - крок рихлів, 0,1 мм.

Розроблено перспективні схеми тістоміських машин з безлопатевою робочим органом і багатогранною робочою камерою (рис.5).

Робоча камера виконана з плоских елементів, щорозміщені під деяким кутом один до одного по його периметру та з'єднані боковинами (рис.1). Запропонована конструкція робочої камери дозволяє створювати хвильовий рух, дискретне стискання з вібраційним витіканням змішуваних компонентів при сприянні пасивного вібраційного пристрою (ПВП), що являє собою пластифікатор.

Обґрунтовано основні етапи виконання комплексу проектувальних робіт, спрямованих на простоту конструкції, надійність, зменшення енерговитрат, підвищення інтенсивності механічної дії з її регулюванням при сприянні вібрації. Такий підхід дозволяє створювати нові типи машин і принципово по-новому організовувати в них протікання процесу замішування.

Розроблено перспективні схеми тістоміських машин з безлопатевою робочим органом і багатогранною робочою камерою (рис.5).

У четвертому розділі за запропонованою методикою засобами математичного і комп'ютерного моделювання вивчено закономірності управління процесом структуроутворення тіста, виявлено особливості впливу на тісто деформації розтягування, стискання, зсуву, кручення, витікання його через профільний отвір, що впливають із основних уявлень фізико-хімічної механіки. Це дозволило узагальнити механізм замішування у профільному каналі змінного перерізу, утвореного корпусом багатогранної робочої камери і барабанним робочим органом, встановити обґрунтоване дотримання основних вимог до якості стадійності замішування.

Розроблено принципово новий метод замішування, що дозволяє регулювати структурно-механічними властивостями дисперсної системи, встановлюючи та регулюючи деформаційні процеси.

Методом математичного моделювання розглянуто фактори і проблеми багатофазового руху в рамках багатошвидкісної моделі гетерогенного середовища, пов'язаної з зміщенням зовнішніх границь та міжфазових поверхонь всередині виділеного об'єму, що описують внутрішньофазові і міжфазові взаємодії. Встановлено, що аналітичний опис цих основних закономірностей побудовано на загальновідомих законах збереження маси і кількості руху дисперсного двофазового середовища.

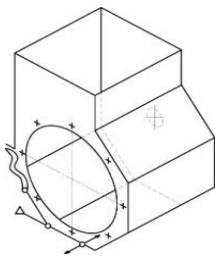
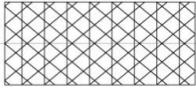
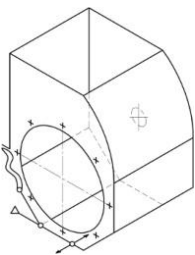
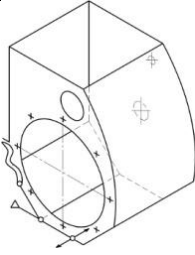
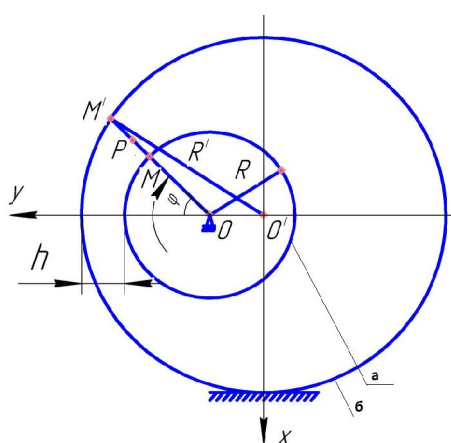
Конструкція робочої камери для безлопатевого замішування	Безлопатові робочі органи	Застосування
	 A	Простота конструкції; підвищення інтенсивності механічної дії; зменшення енерговитрат; зменшення тривалості процесу замішування
	 Б	Простота конструкції; підвищення інтенсивності механічної дії; зменшення енерговитрат; зменшення тривалості процесу замішування
	 В	Підвищення інтенсивності механічної дії; зменшення енерговитрат; зменшення тривалості процесу замішування

Рис. 5. Схеми робочих камер і органів з різною формою рихлів



**Рис.6. Розрахункова схема:
а) робочий циліндричний орган; б) циліндрична робоча камера**

З огляду на те, що в традиційних моделях континууму точки ототожнюються з частками середовища, що, в свою чергу, є елементарними носіями властивостей матеріалу, подібне ототожнення для тіста ускладнюється щодо розуміння суті такого середовища. Оскільки основні кінематичні аспекти поведінки тіста не відрізняються від притаманних іншим видам суцільних середовищ, у ньому можна виділити область, до якої застосовується ідеологія суцільного середовища, що базується на основах фізико-хімічної механіки, тому його рівняння руху в просторі між двома коаксіальними циліндрами покладене в основу математичної моделі процесу тістоутворення відповідно до будови ДБТМ (рис. 6).

Вважаємо, що ексцентриситет $e = O'O$ малий порівняно з радіусами R і R' ($R' > R$) рухомого і нерухомого циліндрів, густина і кінематичний коефіцієнт в'язкості постійні, а в напрямку вздовж осі Z (перпендикулярно до площини рисунка) конструкція місильної камери має нескінченну довжину і крайовими ефектами в цьому напрямку можна знехтувати, тобто рух проміжку між циліндрами плоский. Положення будь-якої точки P в області руху визначаємо полярними координатами $r = OP$ і φ , де r – відстань до біжучої точки від точки O і φ – кут, який утворює радіус OP з віссю Y . Якщо відстань $MM' = h(\varphi)$, то робоча область задається нерівностями $R \leq r \leq R + h(\varphi)$, $0 \leq \varphi \leq 2\pi$. Вважаємо, що $OO' = e$ мала порівняно з $R' = O'M$. Наближено можна вважати, що: $R'^2 = e^2 + (OM')^2 - 2eOM' \cos(\pi - \varphi)$; значення величини змінного зазору з урахуванням $h(\varphi) > 0$, у даному випадку, $h(\varphi) = \sqrt{R'^2 - e^2 \sin^2 \phi - (R + e \cos \phi)}$.

Рух тіста в проміжку між циліндрами повільний у тому сенсі, що можна знехтувати інерційними членами порівняно з тими, що враховують в'язкі сили і зміни тиску. Враховуючи також відносну сталість проміжку між циліндрами, вважатимемо, що мають місце такі нерівності: $V_\varphi \gg V_r$; $\frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} \gg \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial r}$, $\frac{1}{r^2} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi^2}$,

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi}, \frac{V_\varphi}{r^2}, \frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} \gg \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r}, \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \varphi^2}, \frac{1}{r^2} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi}, \frac{V_r}{r^2}.$$

У наслідок цього, а також враховуючи, що $V_z = 0$, рівняння руху тіста у спрощеному вигляді такі:

$$\mu \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} = \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \varphi}, \mu \frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} = \frac{\partial P}{\partial r}, \frac{\partial}{\partial r}(rV_r) + \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} = 0 \quad (1)$$

У результаті подвійного інтегрування першого рівняння з (1) і задоволення умов $V_\varphi = \omega R$ при $r = R$, $V_\varphi = 0$ при $r = R + h(\varphi)$, знайдено швидкість руху

$$V_\varphi = \frac{1}{\mu h} \frac{\partial P}{\partial \varphi} \{hr \ln r - (r - R)(R + h) \ln(R + h) - (R + h - r)R \ln R\} + \frac{\omega R}{h} (R + h - r). \quad (2)$$

Середня швидкість руху тіста і об'ємний розхід тіста через формівний отвір буде

$$\begin{aligned} \bar{V}_\varphi &= \frac{R(R + h)}{2\mu h} \frac{\partial P}{\partial \varphi} \left[\ln \left(1 + \frac{h}{R} \right) - \frac{h}{2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R + h} \right) \right] + \frac{\omega R}{2} \\ Q &= \frac{R(R + h)}{2\mu h} \cdot \frac{\partial P}{\partial \varphi} \left[\ln \left(1 + \frac{h}{R} \right) - \frac{h}{2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R + h} \right) \right] + \frac{\omega R h}{2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Найбільш суттєвою є складова тиску P , що виникає в результаті пластифікації. Із залежності (3) отримано рівняння для визначення тиску

$$\frac{2\mu h \left(Q - \frac{\omega R h}{2} \right)}{R(R + h) \left[\ln \left(1 + \frac{h}{R} \right) - \frac{h}{2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R + h} \right) \right]} = \frac{\partial P}{\partial \varphi}. \quad (4)$$

Величина напружень тертя, що виникає протягом замішування, дорівнює

$$\tau_w = \frac{2\mu}{Rh} \left(\frac{\omega Rh}{2} - Q \right) \frac{\ln\left(1 + \frac{h}{R}\right) - \frac{h}{R+h}}{\ln\left(1 + \frac{h}{R}\right) - \frac{h}{R+h} \left(1 + \frac{h}{2R}\right)} - \frac{\omega R \mu}{h}, \quad (5)$$

де V_r , V_φ , V_z – проекції вектора швидкості частинки на осі циліндричної системи координат; ω – кутова швидкість; де μ – динамічний коефіцієнт в'язкості.

Шляхом моделювання отримано експериментальні дані, що поглиблюють відомості конструктивно-технологічних особливостей процесу замішування з урахуванням контактної взаємодії тіста, тобто сил тертя, міцності адгезії, тиску, особливостей поведінки газової фази і зміни реологічних властивостей утворювального тіста під впливом деформацій.

Вироблено методику обчислення визначення міцності адгезії тіста при пластифікації. Встановлено, що площа контакту $S = 2\pi R \frac{1}{8} \left(2b + \frac{2}{5} R \right) = 0,0343 \text{ м}^2$ забезпечує міцність адгезії 24,2 Па при швидкостях обертання $v=1,4-1,7 \text{ с}^{-1}$.

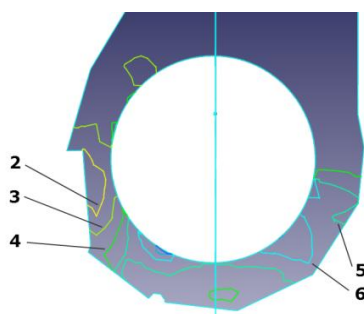


Рис. 7. Розподіл тиску на тісто при пластифікації

№	кПа
1	110.5
2	107.9
3	105.3
4	102.7
5	101.4
6	97.5

На основі загальної концепції (рис.3) проведено комп'ютерне моделювання за допомогою програмного комплексу FlowVision (реалізує розрахунок кінематичних параметрів руху дисперсного середовища, розподілення в ньому напружень, сили опору на робочий орган) проведено імітаційне моделювання процесу замішування. Виконано аналіз взаємодії поверхні місильного барабана та поверхні ПВП залежно від їх розміщення з тістом. Визначено раціональні конструктивно-технологічні параметри процесу стадійності замішування. Встановлено, що деформація в зоні пластифікації є джерелом внутрішніх напружень, що разом з високою щільністю тіста призводять до можливості стискування, розтягування, тобто створення пластичної зони, що стабілізує весь процес і одночасно створює передумови для інтенсифікації (рис. 7,8,9).

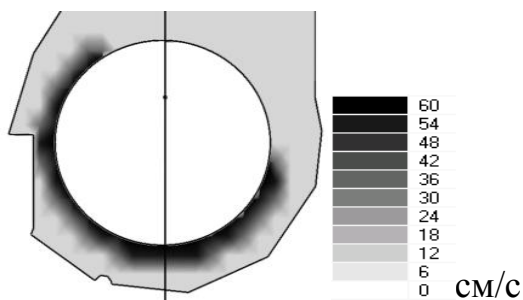


Рис. 8. Зміна модуля швидкості компонентів

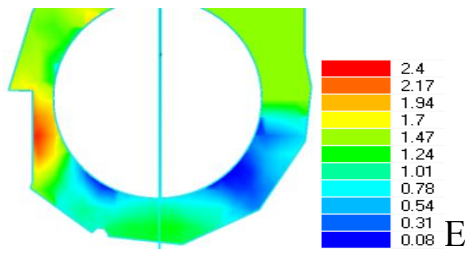


Рис. 9. Поле розподілу деформацій суміші

У п'ятому розділі наведено методику дотримання основних вимог теорії процесу замішування із забезпеченням оптимальних значень інтенсивності й тривалості впливу на різних стадіях при оцінюванні взаємодії рецептурних компонентів з урахуванням

конструктивних особливостей безлопатевого робочого органу і циліндричної багатогранної робочої камери з додатковим опором у вигляді пасивного вібраційного пристрою (ПВП) пластифікатора.

Розкрито роботу безлопатевого замішування, що базується на рівнянні опору розриву задгезійною складовою на поверхні місильного барабана при збереженні оптимальних умов максимального навантаження на його поверхню, що лімітує передавання енергії тістові порівняно з хаотичним рухом у сучасних машинах.

Розроблено методику визначення раціональних технологічних параметрів, що дозволяє врахувати геометричні розміри (рис.5в) безлопатевого нагнітання тіста та характер його руху (рис.10). Вважаємо: початок декартової системи координат розміщено в точці А, рівень тіста $x = x_0$ постійний, об'ємна витрата тіста G постійна по довжині зони течії, швидкість барабанів V і V_1 , а їх радіус R_1 , R_2 ; зазор між робочим і живильним барабаном $2H_0$, текуча товщина – $2h$; висота тіста – ℓ . В напрямку осі z течією нехтуємо ($\partial/\partial z = 0$). При виході ($x = x_1$) тісто доторкається поверхонь ($h_0 = h$), а осьова швидкість однорідна по перерізу $v_x = V$. В поперечному перерізі використано граничні умови прилипання тіста до поверхні барабана. Густина ($\rho = \text{const}$); сили вязкого тертя співпадають з силами власної ваги; швидкість обертання барабанів мала і сили інерції значно менші сил вязкого тертя; кутова швидкість різна, течія не симетрична. Отримаємо рівняння нерозривності в

інтегральній формі
$$G = 2 \int_0^h v_x dy.$$

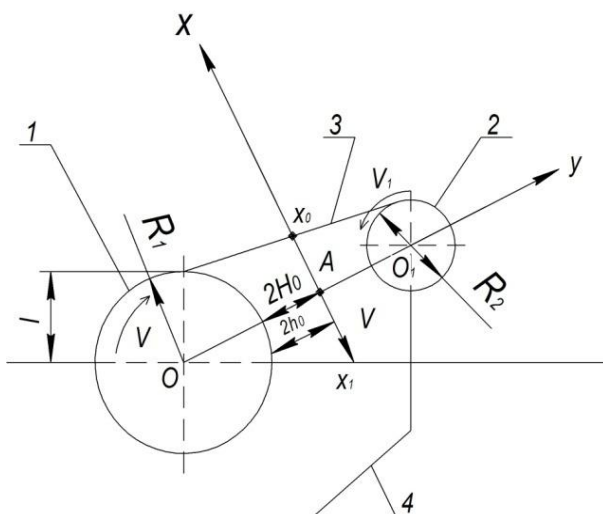


Рис. 10. Схема течії тіста у вертикальному зазорі між барабанами: 1–безлопатевий робочий орган; 2– живильний барабан; 3–тісто; 4– корпус робочої камери

Гармонійна швидкість: $V = (vR_2 + v_1R_1)/(R_2 + R_1)$. Методом потенціалів визначено абсолютну величину складових швидкостей $V_x(x, y) = V_{x0} / [(x+x_0)^2 + (y+y_0)^2 + 1]$,

де V_{x0} – складова швидкості в точці А, м/сек.; x, y – біжучі координати в даній точці.

Складову дивергенцію тензора напружень в'язкопластичної рідини Гершеля–Балклі ($\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma}^m$), де аналітичний вираз складових параметрів А і В переведено в двовимірний масив дискретних числових значень, обчислюємо за такими формулами:

$$A(x, y) = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{d}{dx} \cdot v_x(x, y) \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{d}{dy} \cdot v_y(x, y) \right)^2 + \left(\frac{d}{dy} \cdot v_x(x, y) + \frac{d}{dx} \cdot v_y(x, y) \right)^2}$$

$$\tau_{xx}(x, y) = 2 \cdot B(x, y) \cdot \frac{d}{dx} v_x(x, y); \tau_{yy}(x, y) = 2 \cdot B(x, y) \cdot \frac{d}{dy} v_y(x, y); B(x, y) = \frac{\tau_0}{A(x, y)} + \eta \cdot A(x, y)^{m-1};$$

$$\text{div} v(x, y) = \frac{d}{dx} v_x(x, y) + \frac{d}{dy} v_y(x, y)$$

$$dp_x(x, y) = \rho \cdot \left(g - v_x(x, y) \cdot \frac{d}{dx} v_x(x, y) - v_y(x, y) \cdot \frac{d}{dy} v_x(x, y) \right) + \frac{d}{dx} \tau_{xx}(x, y) + \frac{d}{dy} \tau_{xy}(x, y),$$

$$\tau_{xy}(x, y) = B(x, y) \cdot \left(\frac{d}{dy} v_x(x, y) + \frac{d}{dx} v_y(x, y) \right).$$

Модель Шведова-Бінгама визначається системою диференціальних рівнянь руху, нерозривності і реологічного стану:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \rho g, \quad G = 2 \int_0^h v_x dy, \quad \begin{cases} \gamma = 0, & |\tau_{xy}| < \tau_0, \\ \tau_{xy} = s \tau_0 + \eta \dot{\gamma}, & |\tau_{xy}| \geq \tau_0, \end{cases}$$

де $s = \text{sign}(\dot{\gamma})$ – знак швидкості зсуву; $\dot{\gamma} = \partial v_x / \partial y$ – швидкість зсуву; ρ – густина тіста; τ_0 – допустиме напруження зсуву; τ_{xy} – дотичне напруження; η – пластична в'язкість.

Використання запропонованої методики визначення характеру течії можна використовувати при проектуванні валкового нагнітача при подаванні маси тіста (тістоподільні машини, формувальні машини), при дозуванні й т.д.

Результати досліджень вносять вклад у гідромеханіку нелінійних середовищ, сприяють розвитку теоретичних основ процесу інтенсивного замішування тіста способом нагнітання між барабанами, розкатування та стискання (рис.11,12). Тиск симетрично знижується в процесі нагнітання тіста, але свої максимальні значення має біля поверхні барабана, що підтверджує активну дію його стискання. Характер дії суттєво залежить від діаметра, частоти обертання, поверхні та осрової відстані між валками.

З використанням вищезазначених методологічних розробок виконано комплекс робіт, спрямованих на підвищення експлуатаційних показників штампа машини ФПЛ-1 і формувальної МПС-2 виробництва ТзОВ «Микулинецький БРОВАР». Упровадження запропонованих рішень дозволило знизити енерговитрати на 10%, забезпечити надійність, довговічність і стійкість до спрацювання вузлів у 1.5 раза.

З метою систематизації факторів, які впливають на технологічний процес безлопатевого замішування тіста, складено параметричні схеми підсистем. Проведено їх аналіз, що дав змогу вибрати ефективні параметри підсистеми, визначити залежності, які необхідно дослідити. Для створення раціональних

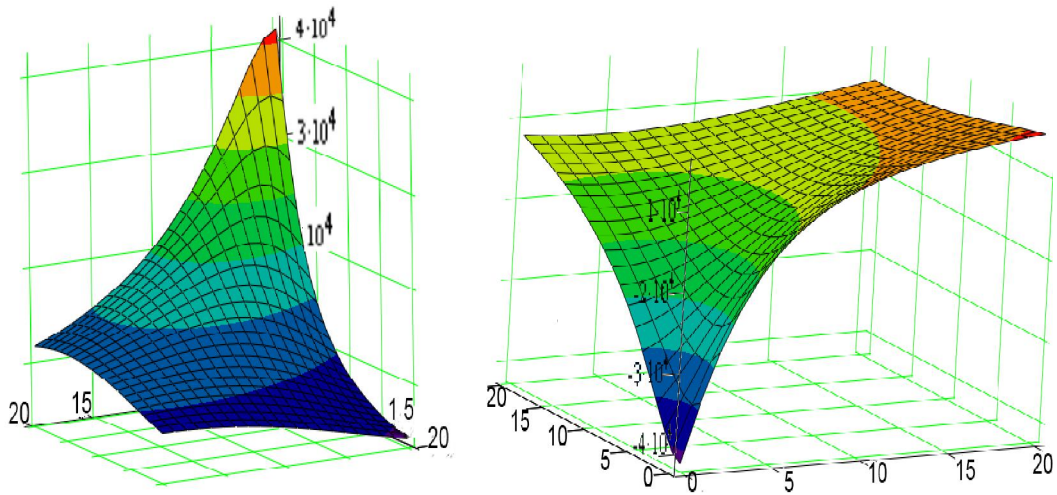


Рис.11. Тривимірна поверхня зміни тиску в зоні нагнітання

режимів замішування тіста обґрунтовано оптимальні параметри тривалості дозування компонентів, їх кількісний і якісний склад.

Вивчено рівень дозування рідких компонентів і борошна та їх вплив на

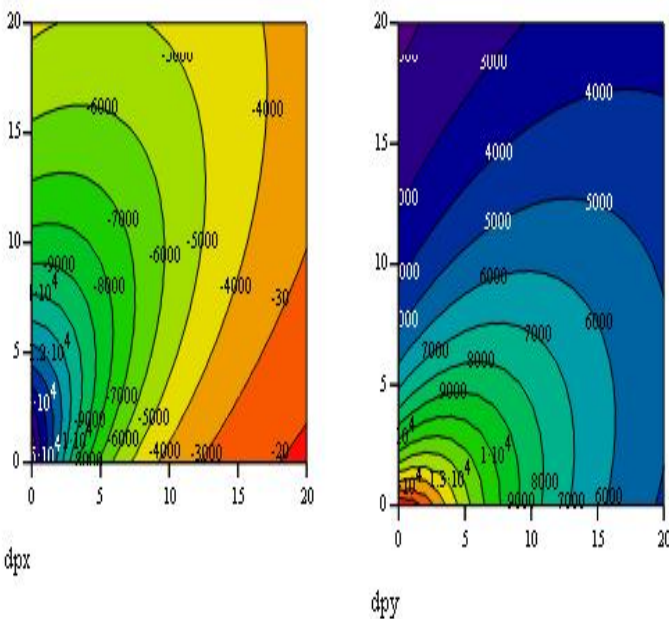


Рис.12. Контурний графік зміни горизонтальної та вертикальної складових тиску в площині, що визначається горизонтальною та вертикальною осями координат тіста

стадійність процесу замішування. Доведено, що основними напрямками удосконалених заходів процесу дозування є структура потоків борошна, потоків рідких компонентів від дозаторів та їх взаємодія у завислому стані в робочій камері та на поверхні безопатевого робочого органу. Саме в таких умовах дозування рідких компонентів затримуємо на 5 сек. Після 55 сек дозування борошна на протязі 20–30 сек. триває дозування рідких компонентів, що в загальній тривалості становить 90 секунд.

Встановлено, що незалежно від форми і характеру руху потоку, його продуктивність на будь-якій стадії обробки постійна і дорівнює

$$q = S_1 v \gamma,$$

де S_1 – умовна середня площа поперечного перерізу, м^2 ; v – середня швидкість потоку, м/с ; γ – об'ємна вага змішуваних компонентів, кг/м^3 ; q – середня продуктивність потоку, кг/с .

Доведено, що краща якість замішування досягається при рівномірному заповненні робочої камери методом дискретно-імпульсного введення компонентів, при якому інтенсивно утворюється тонкий шар. Це прискорює рівномірний розподіл вологи в масі утворюваного тіста, суттєво впливає на його структурно-механічні властивості, фізико-хімічні й біологічні процеси. Встановлено, що дискретність у даному випадку характеризується регульованими величинами, тобто конструктивними особливостями тістомісильної машини.

Встановлено, що з моменту завершення дозування борошна об'єм компонентів у робочій камері зменшується в 1,6 раза.

Для аналітичного описання кінетики взаємодії компонентів і отримання прийнятних інженерних розрахунків опису процесу ідеального перемішування з дією вібрації на першій стадії, що описує динаміку гетерогенних масообмінних контрольованих процесів, обмежених інтервалом часу до 100 с, в якості математичної моделі запропоновано використання рівняння для дослідження коефіцієнта масопередавання процесу

$$\beta = A_1 + A_2 (d \delta n)^{0,5} \left(\frac{\rho}{\mu}\right)^{0,17} \quad (6)$$

де $A_1 = 2 \frac{D_v}{D_p}$, $A_2 = 0,1374 \frac{D_v^{0,67}}{D_p}$; D_p – діаметр частинки твердого тіла. Для борошна першого гатунку $D_p \approx 0,15 \text{ мм}$; D_v – коефіцієнт молекулярної дифузії рідких компонентів.

Коефіцієнт масопередавання встановлює обґрунтований зв'язок з параметрами, що характеризують конструкцію дискретної тістомісильної машини (d – діаметр місильного барабана і δ – зазор між барабаном і корпусом циліндричної місильної камери), режим замішування на першій і другій стадіях (n) і фізичні властивості суміші (μ і ρ), μ – коефіцієнт динамічної в'язкості.

Принцип замішування тіста в тонкому шарі у неперервному потоці при механічній дії місильного барабана з великою площею контактування, при відносно великій швидкості обертання, створює умови оптимізації й інтенсифікації масообмінних процесів.

Встановлено, що швидкість руху компонентів до моменту утворення зв'язаної маси співпадає з швидкістю обертання місильного барабана. З моменту утворення зв'язаної маси (тіста), швидкість її зменшується з збільшенням густини.

Проведені дослідження довели, що за однакової частоти обертання місильного барабана існує певне співвідношення між швидкістю руху компонентів і густиною $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$. Крім цих факторів проходить постійна зміна об'єму робочої камери, форма якої є у вигляді багатогранника і дотримується співвідношення: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$,

де v_1 – швидкість компонентів до утворення зв'язаної маси; v_2 – швидкість компонентів після утворення зв'язаної маси (тіста); V_1 – об'єм робочої камери в початковий період процесу утворення зв'язаної маси; V_2 – об'єм робочої камери в період пластифікації; ρ_1 – густина до утворення тіста; ρ_2 – густина тіста.

Доведено, що незначна розбіжність у часі дозування компонентів сприяє рівномірному за короткий час забезпеченню стабільності раціональних параметрів процесу замішування, де перша стадія виконана якісно, а друга не потребує енергійної механічної обробки, тому вона відбувається в стані спокою.

Обґрунтовано, що процес замішування на першій стадії, з точки зору кінетики, в робочій камері машини при утворенні однорідної рідкої суміші компоненту відбувається за наявності чотирьох способів: способу прямої течії, гравітаційного, інерційного, конвективного.

Встановлено, що коефіцієнт масопередавання визначає максимальну фазову поверхню контакту компонентів, де фазовий контакт борошна $S=178 \cdot 10^3 \text{ м}^2$ у кожній із зон робочої камери машини відбувається за рахунок псевдозрідженого стану, площі місильного барабана, кратності циркуляції, що є ідеальним і визначає рівень досконалості дискретної безлопатевої тістомісильної машини.

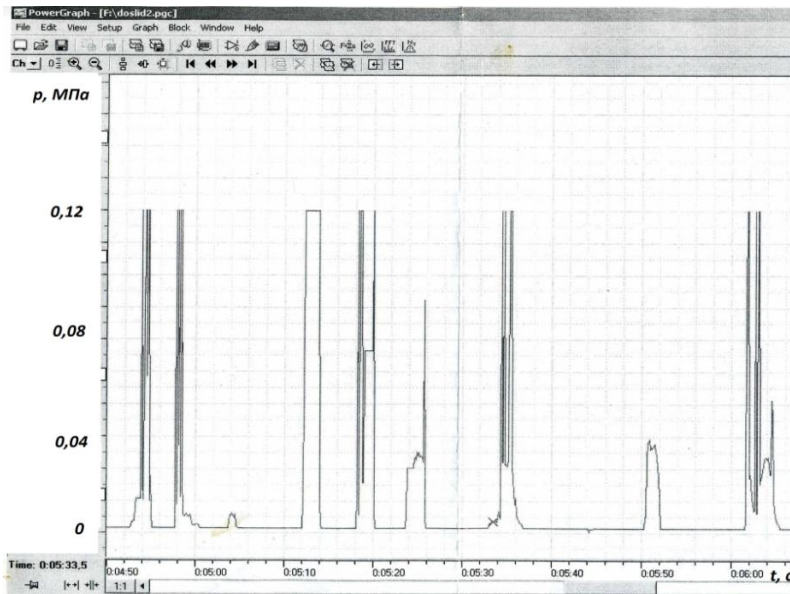
У шостому розділі на основі аналізу перспективних схем безлопатевого замішування (рис.4) розроблена методика визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів процесу динаміки пластифікації тіста в умовах неперервної циклічної зміни геометрії робочого об'єму робочої камери, дотримання симетрії між рухомою і відсутністю симетрії нерухомою поверхнею, наявністю сил тертя, адгезії, гравітаційних і відцентрових сил в умовах одноосного розтягування. Раптова зміна швидкості деформації при змінному градієнті швидкості зсуву, мало змінному градієнті температури, встановленому періоді релаксації, визначеній дії вібраційного поля пасивного вібраційного пристрою (ПВП) визначає новий метод пластифікації тіста. Це створює рівномірний масообмін між компонентами і сприяє інтенсивності замішування. При цьому пасивний віброзбуджувач розглядається як наслідок поступового формування маси тіста третього періоду замішування і визначає стабілізаційний вплив конструктивних параметрів ДБТМ на рецептурний склад з рівномірною механічною обробкою.

Виявлено, що керування механічною дією на інтенсивність замішування, результати яких задовільно корелюються з відомими значеннями відповідних параметрів місильного барабана та робочої камери, можливе за допомогою пластифікатора (ПВП), що визначає розміщення кількості суміші рідких компонентів на ньому і встановлює сам процес (рис.14б). Такий метод сприяє плавній роботі ДБТМ, стабілізує весь процес замішування і визначає його тривалість, споживання енергії, якість тіста, продуктивність.

Доведено, що інтенсивність впливу стискування в період пластифікації можна оцінювати за трьома розробленими методиками: за допомогою програми «PowerGraph» (рис.13), «Flowvision» (рис.7), та математичної моделі, що дозволяє порівняти дані і виконати пошук інтенсивності й ефективності роботи ДБТМ та інших машин. Використовуючи аналіз механіки руху пластифікатора, досліджувались альтернативні способи віброзбудження (рис.14а). В результаті

проведено оцінювання параметрів процесу, вперше розроблено методику визначення коливань тіста, що дозволило отримати необхідну базу даних для визначення основних характеристик просторових коливань.

На тісто діють: сила тяжіння G , сила внутрішнього тертя F_t , сила прилипання до пластифікатора (адгезійна) F_{np} , сила ковзання по пластифікатору $F_{ков}$, сила нормальної реакції з боку пластифікатора N , а також сила з боку маси тіста (рушій) F_p , що виникає внаслідок дії місильного барабана.



Теоретичне дослідження математичної моделі (рис.16а) вібробудження тіста в період пластифікації дозволило отримати рівняння руху (7) та визначення стискання тіста при пластифікації, їх розв'язок (8, 9)

Р
и
с
•

13. Визначення стискання тіста при пластифікації програмним комплексом «PowerGraph»

$$m\ddot{x} + ax^{\square} + kx = f(G \sin \alpha - F_m \cos \alpha - F_p \cos \alpha) \sin \alpha + F \cos \omega \tau \quad (7)$$

$$m \cdot \ddot{x} + 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot \dot{x} + k \cdot x = (m \cdot g \cdot \sin \alpha - 6 \cdot \pi \cdot R \cdot \dot{x} \cdot \cos \alpha) \cdot f \cdot \sin \alpha + \frac{\Delta P \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2}{\tau \cdot \rho \cdot g} \cdot \cos \omega \cdot \tau \quad (8)$$

$$a = \frac{6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R}{m} \cdot (1 + f \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha) \quad b^2 = \frac{k}{m} \cdot (1 + f \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha)$$

$$A = g \cdot f \cdot \sin^2 \alpha; \quad B = \frac{\Delta P}{m \cdot \rho \cdot g} \cdot \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2$$

$$\ddot{x} + a \cdot \dot{x} + b^2 \cdot x = A + B \cdot e^{-\theta \tau} \cos \omega \tau; \quad \ddot{x} + a \cdot \dot{x} + b^2 \cdot x = 0; \quad r^2 + a \cdot r + b^2 = 0; \quad r_{1,2} = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 - 4b^2}}{2}.$$

Шукане рівняння можна представити у вигляді:

$$X = \bar{X} + \tilde{X} = e^{-\alpha \tau} [c_1 \cos \beta \tau + c_2 \sin \beta \tau] + [D_1(\tau) \cos \beta \tau + D_2(\tau) \sin \beta \tau] e^{-\alpha \tau} \quad (9)$$

$$D_1(\tau) = \frac{1}{\beta} \int_0^\tau e^{-\alpha\tau} \sin \beta\tau (A + B e^{-\theta\tau} \cos \omega\tau) d\tau, \quad D_2(\tau) = \frac{1}{\beta} \int_0^\tau e^{-\alpha\tau} \cos \beta\tau (A + B e^{-\theta\tau} \cos \omega\tau) d\tau;$$

$$X = e^{-\alpha\tau} [(c_1 + D_1(\tau)) \cos \beta\tau + (c_2 + D_2(\tau)) \sin \beta\tau] \sin \beta\tau$$

$$\dot{X} = -\alpha e^{-\alpha\tau} [c_1 \cos \beta\tau + c_2 \sin \beta\tau] + e^{-\alpha\tau} [D_1^1 \cos \beta\tau - D_1 \beta \sin \beta\tau + D_2^1 \sin \beta\tau + \beta (c_2 + D_2(\tau) \cos \beta\tau)]$$

Використовуючи математичний аналіз рівнянь (8, 9) у програмному середовищі Math CAD, отримано основні характеристики коливальної системи (рис. 15).

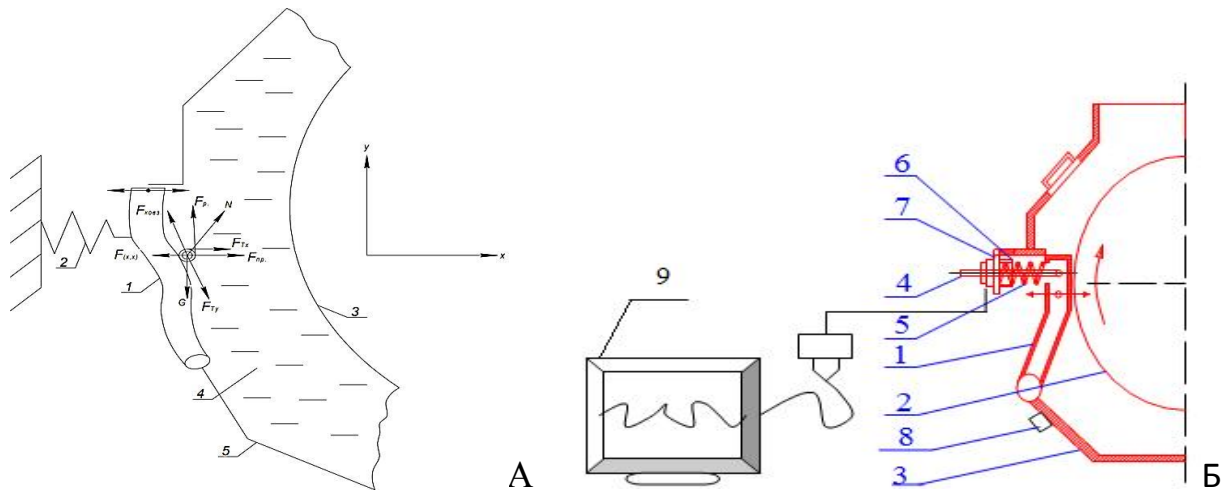


Рис. 14: А – Розрахункова схема пластифікації;

Б – Конструкція пластифікатора:

**1 – каркас; 2 – барабан; 3 – корпус машини; 4 – шарнірно-рухомий гвинт;
5 – пружина; 6 – регуляторний пристрій; 7 – гайка; 8 – термодавач; 9 – монітор**

Доведено, що конструкція ПВП визначає фіксований рівень і час дискретності

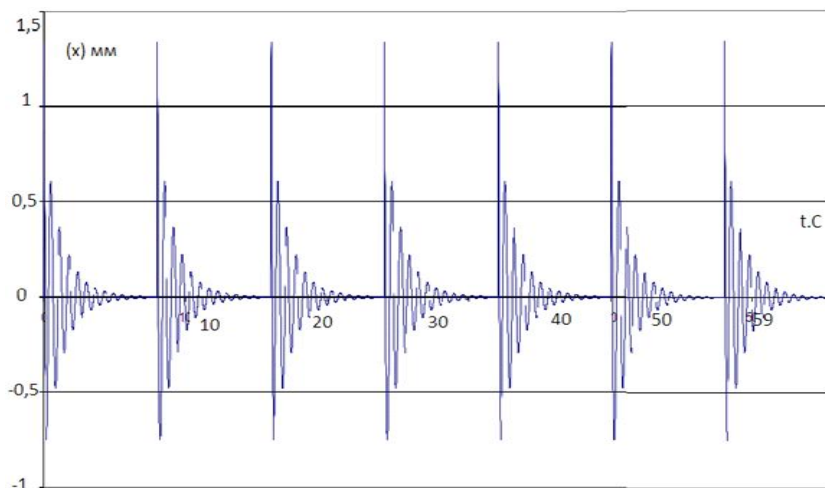


Рис. 15. Амплітудні параметри деформації тіста за період пластифікації

безперервного процесу замішування, що характеризується періодичними силами деформації й часом.

Враховуючи розроблену методику розрахунку, обґрунтовано основні конструктивні елементи пластифікатора та етапи проектування, що враховують геометричні

розміри поверхні ПВП, умови та режими впливу пружини на коливальний процес у тісті, режими деформації. Згідно з

розробленою методикою проведено комплекс проектувальних робіт, що дозволило розробити комплект конструкторської та технологічної документації на пасивний вібраційний пристрій (ПВП).

Встановлено, що рух поверхні ПВП (пластифікатора) не тільки впливає на якість утворення тіста під час пластифікації, але визначає оптимальну інтенсивність процесу і підтверджує його готовність.

Теоретично визначено, що період пластифікації характеризується збільшенням тиску в напрямку обертання місильного барабана і асиметрією діючих сил, що визначаються геометрією робочого об'єму. Враховуючи допустимі напруження із рівняння руху (1), що здебільшого виникають у період пластифікації тіста та зміни фізико-механічних властивостей при умові, що $P(\varphi = 0) = P_0$, було складено рівняння зміни стиснення тіста

$$P(\phi) = P_0 + \frac{2\mu}{R} \int_0^\phi \frac{\left(Q - \frac{\omega R h}{2}\right) d\phi}{(R+h) \left[\ln\left(1 + \frac{h}{R}\right) - \frac{h}{2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R+h} \right) \right]} \quad (10)$$

Розроблено методику для розрахунку повного ходу (переміщення) поверхні пластифікатора при виборі оптимальних параметрів завантаження місильної камери компонентами

$$S = \frac{G}{S_{\text{пл}} \cdot \rho} + \frac{V_{\text{наг}}}{S_{\text{пл}}} \left(1 - \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \cdot \left(1 + \frac{\tau_n}{a + b\tau_n} \right), \quad (11)$$

де G – маса тіста при пластифікації, кг; $S_{\text{пл}}$ – площа поверхні пластифікатора, м²; ρ – густина тіста, яка подається на ділянку інтенсивного замішування після релаксації, кг/м³; $V_{\text{наг}}$ – об'єм ділянки інтенсивного замішування, м³; ρ_2 – густина тіста після пластифікації, кг/м³; ρ_1 – густина тіста в період надходження на пластифікацію, кг/м³; a і b – емпіричні коефіцієнти; τ_n – час повернення пластифікуючої поверхні ПВП у попередній стан, сек.

Такий зв'язок (11) дозволяє реалізувати широкий діапазон характеристик відновної пружної сили пружини на проходження процесу замішування.

З урахуванням розробленого ПВП та концепції створення пристроїв для інтенсифікації процесу пластифікації розроблено відповідну методику та вимоги побудови. Застосування запропонованої конструкції ПВП і методики контролю відношення рецептурних інгредієнтів при замішуванні тіста дозволяє інтенсифікувати дискретний процес тістоутворення, створювати вібраційне поле при ефективних ПВП.

У цьому розділі представлено результати комплексу натурних експериментів дослідження процесу замішування тіста та готової продукції – хліба, що спрямовані на оцінювання адекватності теоретичних результатів досліджень визначення рекомендованих режимів роботи ДБТМ. В основі конструктивно-технологічного рішення процесу замішування безлопатевим робочим органом є оцінювання тістоутворення і визначення його моменту

готовності. Ці рішення, на відміну від наявних, засновані на аналізах динаміки усього процесу, що полягає у регулюванні оптимальними реологічними властивостями тіста. Їх виявлення сигналізує про його готовність. Саме такий метод встановлює структурно-технологічні властивості тіста, що значно залежать від допустимих напружень зсуву, в'язкості у робочій камері ДБТМ.

Загальною вимогою процесу утворення якісного тіста у замкненому профільному каналі при постійній температурі є визначення граничних напружень зсуву, ефективної в'язкості, адгезії та функціональної залежності $\rho = f(p)$. Покращення властивостей тіста можна пояснити досягненням оптимального співвідношення міцності та пластичності.

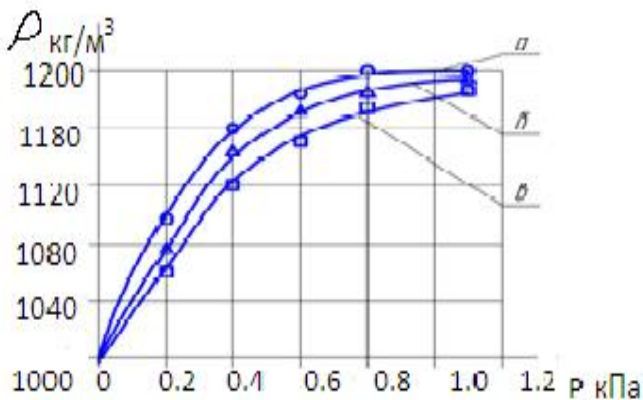


Рис. 16. Залежність $\rho = f(p)$ для тіста із борошна 1 сорту ($W_m = 43,8\%$, $t_m = 27^\circ\text{C}$) при різних значеннях зазору:
 а— $\delta = 20$ мм; б— $\delta = 25$ мм; в — $\delta = 30$ мм

утворення тіста і на етапі утворення однорідної консистенції, що плавно вирівнюються до $\tau = 0,68$ кПа. Початок утворення тиску відбувається після 90 сек змішування і рівень зміни його відбувається дискретно при фіксованому проміжку часу і досягне максимуму, коли тісто має однорідну консистенцію. Відсутність тиску обумовлена тим, що перші дві стадії змішування чітко контуруються на місильному барабані, а за умовами утворення однорідної консистенції за період пластифікації він плавно зростає до $1,1 \cdot 10^5$ Па.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що чим більше відхилення кривих, тим більшому стисканню й інтенсивній пластифікації підлягало тісто, що свідчить про зміни структури. Густина тіста збільшується до 0.8...0,9 кПа, подальше стиснення не впливає на його зміну (рис. 16).

За результатами спливання кульки тіста в мірному циліндрі при температурі 20° встановлено, що кулька тіста після змішування спливала за 10–12 хв, а після обминання – за 5–8 хв. Зміна об'єму тіста, змішаного при $\delta = 30$ мм, у процесі бродіння прискорюється після обминання і досягає свого максимуму за 35хв, що скорочує тривалість бродіння на 20 хв, і це не впливає на кислотонакопичення.

Встановлено, що при структуроутворенні тіста задовольняють теоретично визначені (3, 4, 5, 10, 11) умови раціональної комбінації поверхні пластифікатора до місильного барабана (зазору). Доведено, що тривалість замішування є дискретно регульований процес.

Тісто готували згідно з ГОСТ 28808 і ГСТУ 158.00389676.009-2000.

Враховуючи конструктивні

особливості ДБТМ, що нагадує віскозиметр, показано дві області допустимого напруження зсуву, що виникають на перших 10–15 сек процесу

Визначено час і характер обминання, що становить 10 – 15 хв після замішування. Це дозволило розробити лоток вивантаження тіста у місткість для бродіння довжиною 0.6 м з нахилом до горизонту 56^0 .

Вперше встановлено, що при багаторазовому стисненні тіста до 0,1 МПа із семиразовою кратністю та релаксацією його після (ПВП) при зазорі $\delta = 30$ мм із борошна 1 гатунку з вологістю $W=44,0$ % об'ємна вага збільшується на 30,4 %, при зазорі $\delta = 20$ мм – на 28,6 %, а густина тіста залишається незмінною – 1,080 – 1,12.

Дослідження розпливчастості кульки показало, що при меншому стисканні й більшій кратності пластифікації кулька із тіста, замішаного при $\delta = 30$ мм протягом трьох годин, розпливалася з меншою швидкістю, ніж кулька при $\delta = 20$ мм. Цим також підтверджується, що кількість сирової клейковини, відмитої із більш стисненого тіста, на 2-2,5 % менша, ніж при зазорі $d=30$ мм, але сильніша і краще зберігає свої властивості (рис. 17).

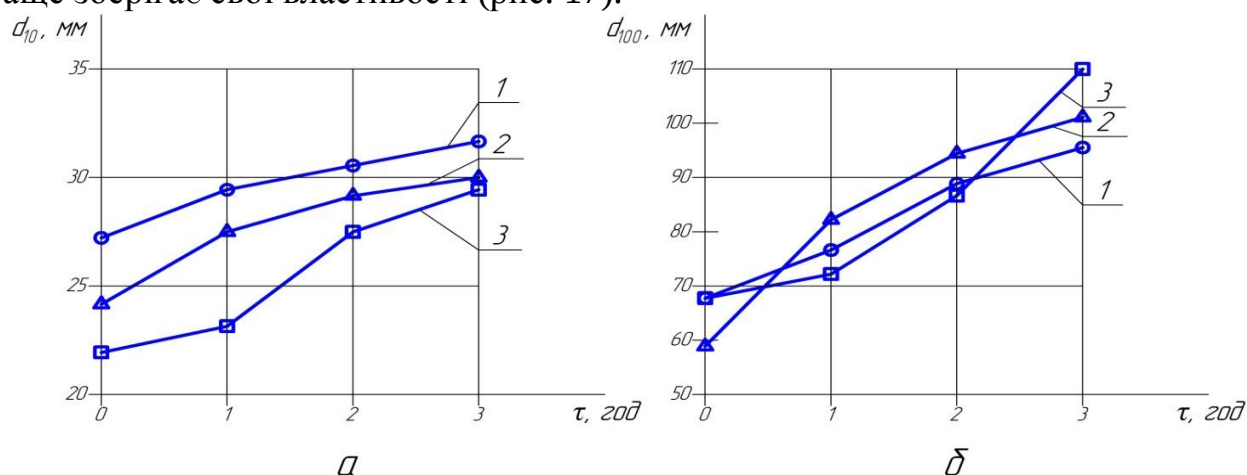


Рис.17. Розпливчастість кульки: а – із 10 г клейковини (d_{10}); б – із 100 г тіста (d_{100}), при 1 – $\delta = 20$ мм; 2 – $\delta = 25$ мм; 3 – $\delta = 30$ мм

Свої максимальні значення тістова заготовка, замішана при плавному підвищенні тиску до $1 \cdot 10^5$ Па досягає за 30-35 хв, що суттєво впливає на скорочення усього технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів, а це – економія борошна, енергоресурсів. Результати підтверджують позитивний вплив стиснення тіста в процесі його утворення від 0,02 до 0,1 МПа, що знижує потужність приводного електродвигуна та витрати енергії, майже вдвічі зменшується обсяг максимальних навантажень на всі рухомі елементи ДБТМ.

Встановлено, що об'єм тіста в кінці пластифікації збільшується вдвічі при тиску до 0,1 МПа, забезпечуючи відсотковий склад газової фази 13,6 %. Це пояснюється поглинанням і поділом частинок газу в тісті при витіканні його (розтягуванні) через профілюючий отвір, що створює рівномірно дрібнопористу структуру (рис.18).

Отримані показники якості тіста в процесі вистоювання (табл. 2) обґрунтовують, що вони майже для всіх заготовок збігаються, але відрізняються своєю тривалістю, а це у виробничих умовах – скорочення технологічного циклу, зменшення втрат борошна, збільшення виходу продукції при забезпеченні її високої якості.

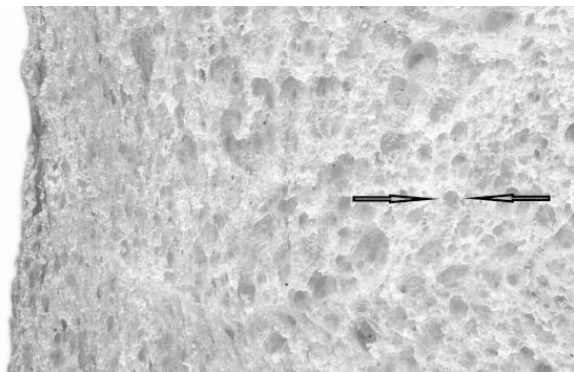


Рис.18.Фотографія рівномірної структури м'якоті хліба

світлу скоринку. Питомий об'єм хліба збільшується на 10 – 12 %, загальна деформація м'якушки – 14 – 19 %, що є позитивним чинником при замішуванні борошна із слабкою клейковиною.

Таким чином, у результаті виконаних досліджень вперше отримано нові дані про особливості впливу режиму роботи ДБТМ на процес тістоутворення під дією коливальних режимів і показано, що це позитивно розв'язує проблеми при переробці борошна із слабкою клейковиною. Хліб має приємний запах і смак, еластичну м'якушку та

Таблиця 2

Вплив вистоювання на показники якості тістової заготовки

Показники якості	Замішане тісто при зазорах								
	$\delta = 20$ мм			$\delta = 25$ мм			$\delta = 30$ мм		
Тривалість вистоювання, хв	45	50	60	40	45	50	35	45	50
Питомий об'єм, $\text{см}^3/100$ г	306	350	394	320	360	380	343	368	411
Пористість, %	76	81	83	79	81	82	81	82	83

Встановлено, що найбільш раціонально забезпечується процес при питомій роботі $A=3.72$ Дж/г.

Експериментально встановлено, що при безлопатевому замішуванні потужність до 50 сек залишається без змін, а після 60 сек плавно зростає (рис. 19), при цьому має дві ділянки, що характеризують завершення першої і другої стадій замішування за 110 сек та інтенсивне збільшення потужності на третій стадії

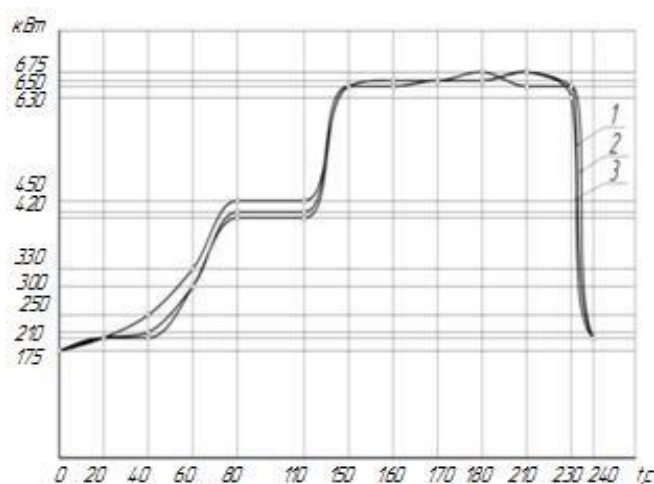


Рис. 19. Графіки зміни потужності зобробки тіста не перевищує 60 сек часом замішування тіста при (ділянка А), а першастадія триває 1,5 хв і зазорах: 1 – $\delta=30$ мм; 2 – $\delta=25$ мм; 3 – $\delta=20$ мм

замішування пшеничного тіста на дискретній безлопатевій машині

Отримана консистограма замішування пшеничного тіста обґрунтовує, що запропоновані конструктивні параметри визначають ефекти вібрації й стискання з об'ємним зсувом тіста, а симетрія діючих сил викликає циркуляційні рухи, що є стабілізаційними в рівномірності рецептурного складу. Встановлено, що інтенсивність механічної роботи тіста не перевищує 60 сек на місильний барабан із слабо вираженим максимумом.

Максимальне навантаження відповідає закінченню процесу сорбції вологи борошном – ділянка В, пластифікується тісто на ділянці С з тривалістю 50 сек, і ділянка Д – вивантаження тіста (рис. 20).

Обґрунтовано принципові підходи до регулювання процесів приготування тіста із забезпеченням загальної вимоги до самого процесу замішування. На

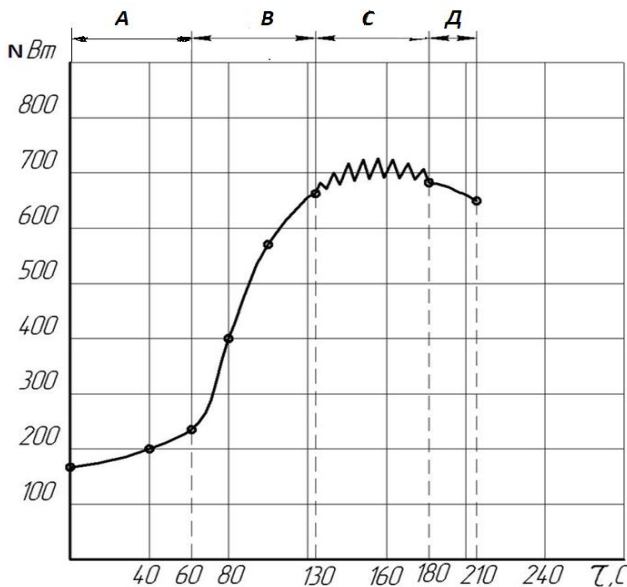


Рис. 20. Консистограма замішування пшеничного тіста на дискретній безлопатевої машині

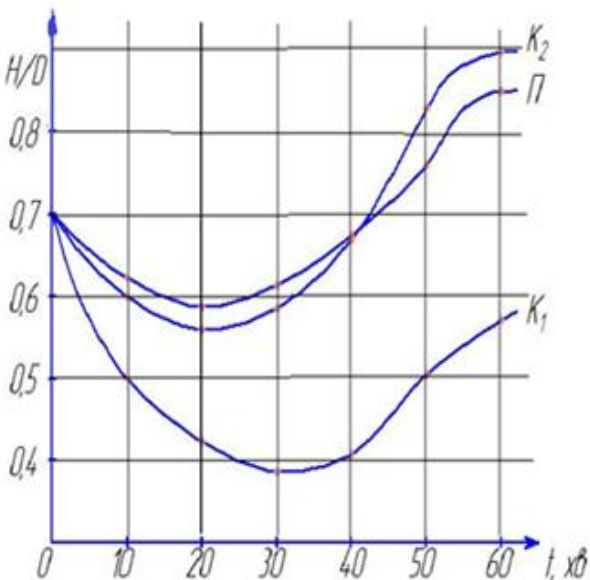


Рис. 21. Зміна Н/Д заготовок тіста в процесі вистоювання при різних способах замішування: К1-замішане в А2-ХТБ; К2-замішане в “Діосна”; П-замішане в ДБТМ

основі експериментальних даних рекомендовано використовувати кількість дріжджів згідно з рецептурами без додаткового збільшення, дотримуватися температури до 32°C , тривалості замішування – до 4 хв.

Випікання житніх сортів тільки на рідких заквасках із суміші: житнього борошна 35 % і першого гатунку 65 %. Встановлено, що дані способи сприяють гнучкості технології, а вся тривалість технологічного циклу виробництва хлібобулочних виробів триває 2,5 год за низьких витрат сухих речовин при бродінні.

Для глибокого дослідження й обґрунтування доцільності та перспективності використання у хлібопекарському виробництві безлопатевого замішування проведено цілий ряд порівняльних досліджень способів замішування. Тісто готували безопарним способом для подового хліба із борошна вищого сорту.

Подано результати особливостей поведінки структурно-механічних властивостей тіста при бродінні, при вистоюванні, а також залежності пористої структури м'якушки хліба від структурно-механічних характеристик заготовок тіста, швидкості черствіння хліба та уточнення технологічних схем і апаратурного оформлення ДБТМ у технології хлібобулочних виробів.

Найповнішу інформацію про даний процес дає динаміка зміни відношення висоти до діаметра (Н/Д) у часі (рис.21). Встановлено спільні закономірності кінетики збільшення діаметра (розпливчастість) над ростом висоти тістової заготовки.

Нульової швидкості раніше всіх досягає тісто K_2 і П (через 15 хв), потім K_1 (через 30 хв). Тістові заготовки K_2 і П мають значно більшу величину Н/Д (0,73-0,84), ніж K_1 (0,5). Швидкість збільшення відношення Н/Д також більша у цих заготовках: максимальна – через 30 хв., в той час як у K_1 – тільки через 43 хв (рис.21).

Досліджено комплексно утворювальну здатність замішаного тіста різними способами (рис. 22). Встановлено, що кислотність тіста у П (проби) складає $2,4^0\text{H}$ після замішування, а для контрольних K_1 – $1,5^0\text{H}$ і K_2 – $1,8^0\text{H}$. Відповідно тривалість кислотонакопичення для П і K_2 скорочується у порівнянні з K_1 , тому час бродіння найкращий у тіста, замішаного на ДБТМ. Підйомна сила і об'єм тіста відчутно зростає для K_2 на 50% і 30%, а для П – на 50% і 32%.

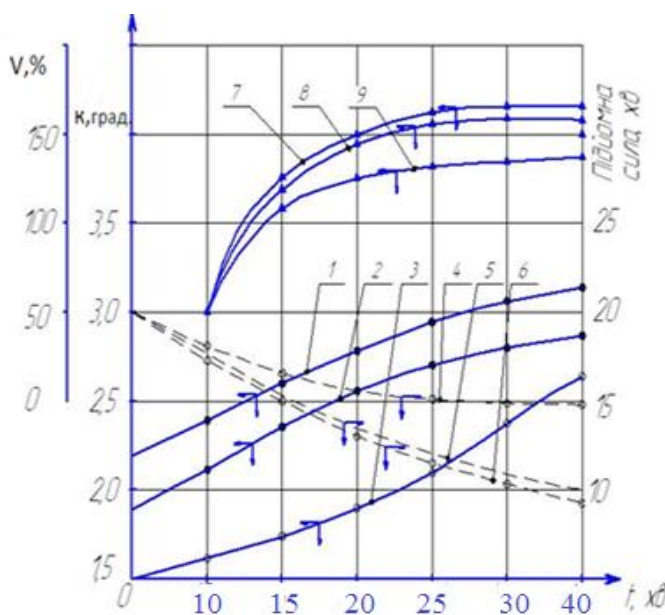


Рис. 22. Зміна кислотності (1,2,3), підйомної сили (4,5,6), об'єму (7,8,9) тіста замішаного різними способами

Клейковина, відмита із тіста, замішаного на ДБТМ, була пружнішою, мала меншу розтяжність як після замішування, так і в кінці бродіння. Аналіз результатів досліджень наведено в таблиці 3.

Прискорене бродіння у ДБТМ можна пояснити прискореними процесами диспергування, сорбції, розчинення, окислення мікроорганізмів із-за покращеного контактування частинок борошна в тонкому шарі з рідкими компонентами та збільшення гомогенності їх після дії ПВП.

Зниження в'язкості при бродінні тіста оцінювали коефіцієнтом розрідження за формулою:

$$K = (1 - \eta_k / \eta_n) 100,$$

де K – коефіцієнт розрідження, %; η_k – в'язкість тіста після бродіння, Па с; η_n – в'язкість тіста після замішування, Па с.

Коефіцієнт розрідження тіста з «Діосни» в 2рази менший порівняно з тістом з А2-ХТБ, а для тіста з ДБТМ – в 1,78 раза, що пов'язано з високою інтенсивністю механічної обробки компонентів. Затрати CO_2 на бродіння при таких способах скорочуються на 15...27%, аналогічна залежність замічена для процесу вистоювання.

Встановлено, що вироби не поступалися об'ємом, пористістю, кольором скоринки та м'якушки і вираженим ароматом перед відомим способом замішування «Діосни». Визначені значення (табл.3) для тіста, замішаного на «Діосні» та ДБТМ, мають більшу в'язкість як після замішування, так і після дозрівання порівняно із тістом, замішаним у А2-ХТБ, що свідчить про триваліше збереження пластичних і пружно-пластичних властивостей.

Таблиця 3

Вплив механічної обробки при замішуванні на в'язкість тіста при бродінні
(швидкість зсуву $D=0,27c^{-1}$)

Показники	Способи замішування		
	A2-ХТБ	Діосна	ДБТМ
Ефективна в'язкість, Па с:			
Після замішування	5,26	6,74	7,36
Після бродіння	3,87	5,85	6,27
Коефіцієнт розрідження, %	26,4	13,1	14,8

Характеристики пористості й структурно-механічних властивостей м'якушки хліба після 16 год випікання показали, що рівномірну, тонкостінну і добре розвинену пористість має хліб, приготовлений на «Діосні» та ДБТМ. Загальні показники (табл.4) обґрунтовують можливість використання безлопатевого замішування тіста.

Таблиця 4

Вплив різних способів замішування на технологічний процес і якість напівфабрикатів та хліба

Показники	Способи замішування		
	A2-ХТБ-К ₁	Діосна-К ₂	ДБТМ-П
Тіста			
Тривалість замішування	15	9	3,4
Температура, °С	32	28	30
Вологість, %	42,8	43	43,2
Кислотність після замішування, град.	1,5	1,8	2,3
Газоутворення, см/100г	265	355	354
Підйомна сила, хв.	15	9	8
Кількість клейковини -сирої, %	25,5	26	26
Розтяжність над лінійкою, см.	12	11	12
Показник ВДК, од. приладу	60	58	60
Тривалість бродіння, хв.	90	45	35
В'язкість тіста, (Па с) 10 ⁴	5,26	6,74	7,36
Кислотність в кінці бродіння, град	2,6	2,8	3,1
Хліб			
кислотність, град.	2,1	2,4	2,6
Н/Д подового хліба	0,37	0,46	0,45
Вологість, %	40,8	42,5	42,4
Пористість, %	78	84	84
Питомий об'єм см/100г	305	363	364
Деформація стискання м'якушки, од. пенетрометра			
Початкова	80	147	145
Через 24 год.	60	125	127
Через 48 год.	50	105	104
Органолептичні			
Скоринка	Темно-жовта	Темно-жовта	Темно-жовта
Колір м'якушки	Світлий	світлий	світлий
М'якушка .	Еластична	більш ніжна	більш ніжна
Смак	нормальний	нормальний	нормальний
Запах	влас. сорту	влас. сорту	влас. сорту

Аналіз досліджень процесів замішування на ДБТМ свідчить про доцільність застосування даних конструкцій нового класу машин. При науковому обґрунтуванні та розробленні раціональних технологій безлопатевого замішування вирішується ряд взаємопов'язаних соціально-економічних завдань: 1– створення нового конкурентоспроможного тістомісильного обладнання; 2– забезпечення ефективності технологічного процесу замішування та умов для його максимальної механізації й автоматизації; 3– підвищення харчової цінності, зменшення собівартості виробів та дотримання показників якості протягом гарантованого терміну зберігання без використання різних поліпшувачів; 4– зменшення виробничих площ і об'єму приміщення, полегшення переходу від виробництва одного виду продукції до іншого; 5– скорочення обслуговуючого персоналу, поліпшення санітарії виробництва, простота і надійність в експлуатації; 6– зменшення витрат сухих речовин борошна на бродіння; 7– забезпечення роботи підприємств в одно-чи двох змінному режимі з вихідним днем або без нього.

Проведені розрахунки ефективності використання безлопатевого замішування показали, що вихід хліба становить 154.18%, зменшення втрат сухих речовин борошна при бродінні – 0.248%, тривалість циклу виробництва до 3 годин. Економічний ефект становить 53.54 грн на 1 тону продукції.

У додатках подано додаткові матеріали, що стосуються побудови математичних моделей, обчислювальних таблиць, математичних обчислень зі використанням середовища багатофункціонального пакета Math CAD 14 та акти впровадження й економічної ефективності.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі аналізу особливостей процесів замішування гетерогенних систем та їх апаратного забезпечення у дисертації вироблено та обґрунтовано наукові положення, висновки та рекомендації, сукупність яких свідчать про нові наукові результати у виборі найбільш раціональних технологічних режимів і способів приготування тіста. Використаний у роботі системний підхід забезпечує комплексне розв'язання науково-технічної проблеми, спрямованої на створення високоефективного і надійного конкурентного обладнання для замішування тіста.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Аналіз конструкцій та наявних сучасних методів інтенсифікації процесу замішування тіста, а також шляхи їх модернізації у хлібопекарській галузі показав, що розв'язання проблеми підвищення якості хліба і забезпечення конкурентності на внутрішньому ринку потребує врахування сучасних тенденцій у виробничій сфері економічно розвинених країн, де використовується системний підхід до цієї проблеми. На цій основі сформульовано наукову концепцію, що заснована на:

- використанні загальних характеристик замішування як способу інтенсифікації отримання однорідної маси;
- використанні основних факторів, що впливають на вимушений рух фаз гетерогенної системи, впливаючи, з одного боку, на властивості системи, а з

іншого,— на конструкцію тістомісильної техніки, що дозволяє рівномірно розподілити дисперсну фазу в гетерогенному середовищі;

— аналізі динаміки усього процесу замішування, що полягає у регулюванні оптимальними реологічними властивостями тіста.

2. Виконано класифікацію методів та засобів інтенсифікації процесу замішування. Вироблено концепцію інтенсивного дискретного безлопатевого замішування тіста як засіб комплексного розв'язання проблеми підвищення якості й оптимізації всіх необхідних стадій процесу. У розроблених конструкціях серед енергозберігаючих заходів було втілено кінематичну комбіновану схемувібровбудження плоских і просторових коливань. В якості інтенсифікуючих факторів застосовано пасивний вібраційний пристрій (пластифікатор).

3. Розроблено математичну модель розрахунку поведінки дисперсної системи у нерівноваженому процесі змішування та основних параметрів на основі вивчення закономірностей безлопатевого перемішування та масоперенесення в робочій камері ДБТМ.

Виконано комп'ютерне моделювання гідродинамічних процесів на всіх ділянках робочої камери і в області робочої поверхні пластифікатора (ПВП) програмним комплексом FlowVision. Комп'ютерним моделюванням процесу замішування на ДБТМ встановлено, що застосування ПВП визначає ефективність швидкості потоку суміші компонентів при сприянні місильного барабана та поверхні циліндричної хвилеподібної камери.

Показано, що ефективність використання завислого стану, дія вібрації й енергія потоку, дискретна дія стискання, нагнітання і релаксація цього потоку сприяють інтенсивному змішуванню тіста.

4. Запропоновано новий методологічний підхід до методики розрахунку поведінки дисперсних систем при нагнітанні безлопатевим робочим органом та живильним барабаном. Отримані залежності основних силових та геометричних параметрів дозволили обґрунтувати найменші енергетичні та водночас інтенсивні режими роботи валкового нагнітання при формуванні тістових напівфабрикатів.

5. Розвинуто теоретичне підґрунтя щодо закономірностей перебігу процесу пластифікації тіста:

- розроблено методику розрахунку основних параметрів процесу пластифікації тіста пасивним вібраційним пристроєм (ПВП), що доповнює теорію стадійності замішування і поєднує послідовність визначення кінематичних, силових, адгезійних, енергетичних параметрів вібрації на рух замішуваного тіста і його закономірності поглинання енергії;

- конструктивно виконано процес пластифікації тіста за допомогою (ПВП) пластифікатора, що створює передумови для оптимізації замішування та визначення показників якості тіста і є основою для вибору напрямків подальшого розвитку технічних засобів і раціонального апаратурного оформлення тістомісильних машин;

- доведено, що поверхня ПВП є інструментом регулювання поведінки утворюваного тіста з найрізноманітнішими структурно-механічними характеристиками на різних стадіях процесу. Встановлено, що дискретність її дії на тісто забезпечує максимальну гомогенізацію його структури і густину. Для забезпечення якісної, без розривів і кратерів поверхні хліба стискання тіста доцільно обмежувати до 0.1 МПа.

6. Визначено основні закономірності залежності реологічних властивостей тіста від параметрів замішування в ДБТМ. Показано, що механічне перемішування і багаторазове стискання тіста поліпшує структуру пористості, газотримувальні та газотворювальні властивості, сприяє збільшенню об'єму хліба на 10 – 12 % і свіжості м'якушки, а також вищому рівню збереження харчової цінності хліба до 72 годин. Обраний режим замішування при зазорі $\delta=30$ мм і $n=1.67 \text{ сек}^{-1}$ дозволяє скоротити втрати сухих речовин при бродінні й вистоюванні до 22 %, збільшити вихід готової продукції на 7– 11 %.

7. Експериментальні дослідження та обчислення процесу замішування дозволили виробити інженерно-технічні пропозиції щодо напрямку удосконалення конструктивних особливостей тістомісильних машин. Техніко-економічні обчислення підтверджують доцільність використання безлопатевої тістомісильної машини. Її впровадження дає не тільки економічний, але і науково-технічний та соціальний ефект, що полягає в підвищенні рівня контролю й управління якістю замішування тіста, економії матеріально-енергетичних ресурсів. Підготовлено технічну документацію на три дискретні тістомісильні машини різної конструкції та потужності.

8. Результати дисертаційної роботи рекомендується використовувати при проектуванні технологічного обладнання для замішування тіста при узагальненні численних різнопланових експериментальних досліджень, пов'язаних з якістю замішування тіста, при обґрунтуванні конструктивно-технічних параметрів і ефективності нових технологій виробництва хлібобулочних виробів.

Методики обчислень і комп'ютерного моделювання впроваджено у навчальний процес, зокрема при викладанні дисциплін «Технологічне обладнання хлібопекарських та бродильних виробництв», «Технологічне обладнання міні – виробництв», а також при виконанні дипломних проектів та магістерських робіт.

Експериментальний зразок енергоефективної безлопатевої машини успішно впроваджено на таких підприємствах: ТЗОВ «Надзбруччя хліб», ТЗОВ «Микулинецький Бровар», ТЗОВ «Тернопільхлібпром», ПП Хіта, ПП Садомира.

За розроблення та впровадження у хлібопекарське виробництво ДБТМ, представлену на Міжнародній агропромисловій виставці «Агро-2011», нагороджено Дипломом міністерства аграрної політики та продовольства.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Процеси та машини для замішування тіста / І. Я. Стадник, О. Т. Лісовенко // Тернопіль: видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 212С.

Особистий внесок: проведення літературного пошуку, обґрунтування та узагальнення прийнятих рішень, постановка задачі, вплив основних параметрів на замішування, розрахункові схеми та концепція розроблення досліджень робочих органів, підготовка матеріалів до публікації.

2. Стадник І. Я. Тістомісильна машина безперервної та періодичної дії / І. Я. Стадник, О. Т. Лісовенко // Хранение и переработка зерна. – 2008. – №2. – с. 51-52.

Особистий внесок: обґрунтування та постановка задачі, розроблення інформаційної технології проектування.

3. Стадник І.Я. Пристрій для визначення реологічних властивостей тіста / І.Я. Стадник, О.Т. Лісовенко, В.Ф. Федів // Хранение и переработка зерна. – 2008. – №11. – с. 57–58.

Особистий внесок: обґрунтування та постановка задачі, розроблення методики визначення реологічних параметрів.

4. Стадник І.Я. Застосування способів вібраційного та пульсаційного замішування при розробці нової тістомісильної машини / І.Я. Стадник, О.Т. Лісовенко // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2009. – №4. – с. 37–40.

Особистий внесок: обґрунтування та постановка задачі, розроблення інформаційної технології проектування.

5. Стадник І.Я. Деякі теорії процесу першої стадії замішування на новій тістомісильній машині / І.Я. Стадник // ОНАХТ. Наукові праці. – 2009. – №35. – Т 2. – с. 149–152.
6. Стадник І.Я. Прогнозування якості процесу замішування на новій тістомісильній машині / І.Я. Стадник // Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей. – 2009. – № 18. – с. 451–460.
7. Стадник І.Я. Процеси першої стадії замішування на новій тістомісильній машині / І.Я. Стадник // Вісник ТДТУ. – 2009. – №2. – Т. 14. – с. 72–79.
8. Стадник І.Я. Процеси другого періоду першої стадії замішування на новій тістомісильній машині / І.Я. Стадник // Вісник ТДТУ. – 2009. – Т14. – с. 81–85.
9. Стадник І.Я. Основи теорії пластифікації тіста // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2009. – №5. – с. 22–23.
10. Стадник І.Я. Вплив адгезії тіста на процес замішування / І.Я. Стадник, О.Т. Лісовенко // Науковий журнал, «Вісник Східноукраїнського університету імені Володимира Даля». – 2010. – с. 52–58.

Особистий внесок: постановка задачі та методики досліджень, узагальнення результатів.

11. Стадник І.Я. Дозатор рідких компонентів / І.Я. Стадник, О.В. Ковальов, В.В. Шутюк, Л.І. Удворгелі // НУХТ. – 2010. – №33. – с. 78–80.

Особистий внесок: постановка задачі та методики досліджень, узагальнення результатів.

12. Стадник І.Я. Порівняння основних показників сучасних тістомісильних машин вітчизняних, європейських, американських та інших країн світу. / І.Я. Стадник // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2010. – №7. – с. 7–8.
13. Стадник І.Я. Обґрунтування процесу пластифікації на тістомісильній машині / І.Я. Стадник, О.Т. Лісовенко // Хранение и переработка зерна. – 2010. – №5. – с. 52–53.

Особистий внесок: розроблення інформаційної технології проектування пасивних вібраційних пристроїв.

14. Стадник І.Я. Розробка експериментального стенду для визначення тиску на поверхні пластифікатора з інтегрованою програмою “PowerGraph” / І.Я.

Стадник, Д.М. Даниилишин// Хранение и переработка зерна. –2010. –№7. – с. 46–50.

Особистий внесок: розроблення схеми стенду, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до публікації.

15. Стадник І.Я. Моделювання руху змішуваних компонентів у камері безлопатевої тістомісильної машини / І.Я. Стадник, М.М. Луців // Хранение и переработка зерна. –2011. –№2. – с. 58 – 60.

Особистий внесок: постановка задачі та методики досліджень, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до публікації.

16. Стадник І.Я. Процес замішування на безлопатевої тістомісильній машині можна регулювати / І.Я. Стадник, В.М. Олійник // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. –2011.–№5. – с. 5 – 7.

Особистий внесок: обґрунтування та постановка задачі, розроблення інформаційної технології проектування, підготовка матеріалів до публікації.

17. Стадник І.Я. Теоретична модель розрахунку витрат потужності під час пластифікації тіста./ І.Я. Стадник // Хранение и переработка зерна.–2011. – №5. – с. 48 – 50.

18. Добротвор І.Г. Дослідження розподілу концентрацій розчинних шарів при змішуванні / І.Г. Добротвор, І.Я. Стадник // Хранение и переработка зерна.– 2011. –№8. – с. 48 – 50.

Особистий внесок: постановка задачі та методики досліджень, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до публікації.

19. Михайлишин М.С. Моделювання процесу замішування тіста безлопатевою робочим органом / М.С. Михайлишин, І.Я. Стадник// Хранение и переработка зерна.–2012. –№1. – с. 54 – 56.

Особистий внесок: постановка задачі, проведення обчислювальних експериментів, підготовка матеріалів до публікації.

20. Стадник І.Я. Особливості зміни структури тіста в залежності від його деформаційних навантажень при замішуванні / І.Я. Стадник // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. –2012. –№5. – с. 11– 14.

21. Стадник І. Я. Інтенсифікація процесу дозрівання тіста / І. Я. Стадник // Матеріали десятої наукової конференції ТДТУ імені І. Пулюя. – 2006. – с. 193.

22. Стадник І. Я. Розподілення концентрацій розчинних шарів при замішуванні / І. Я. Стадник // Матеріали дванадцятої наукової конференції ТДТУ імені І. Пулюя. – 2008. – с. 232.

23. Стадник І. Я. Деякі теорії процесу першої стадії замішування на новій тістомісильній машині / І. Я. Стадник // ОНАХТ. Матеріали 9 Міжнародної науково – практичної конференції « Хлібопродукти – 2009».–№35. Т 2. – с. 149–152.

24. Лісовенко О. Т. Новий спосіб замішування тіста / О. Т. Лісовенко, І. Я. Стадник // Науково-практична конференція «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи»

Національний університету харчових технологій. – К.: НУХТ. – 2010. – № 10. – с. 28.

Особистий внесок: розроблення розрахункових схем, узагальнення результатів підготовка матеріалів до публікації.

25. Стадник І. Я. Автоматизація нової тістомісильної машини / І. Я. Стадник, В. В. Васильків // Міжнародна науково-технічна конференція "Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій" ТНТУ імені І. Пулюя. – 2010. – с. 385–386.

Особистий внесок: розроблення схеми автоматизації, проведення обчислювальних експериментів.

26. Стадник І. Я. «Определение динамического напора тестовой массы в процессе пластикации». Міжнародна науково-технічна конференція "Теоретические и прикладные проблемы математики, механики и информатики". Карагандинский государственный университет им. Е. А. Букетова. – 2010. – с. 103.
27. Стадник І. Я. Напрямки і перспективи в додержанні раціональності процесу замішування. Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні технології і обладнання харчових виробництв» ТНТУ імені Івана Пулюя. – 2011. – с. 252 – 253.
28. Лісовенко О. Т. Розвиток конструктивних схем для безопатетового замішування / О. Т. Лісовенко, І. Я. Стадник / Міжнародна науково - практична конференція «Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості». Національний університету харчових технологій. – К.: НУХТ. – 2012 10 – 11 квітня. – с. 134-135.

Особистий внесок: розроблення конструктивних схем для дискретного безопатетового замішування і інформаційних технологій проектування.

29. Стадник І. Я. Вплив конструкції місильного органу на інтенсифікацію замішування. / І. Я. Стадник // Хлібопекарна і кондитерська промисловість України. – 2006. – № 9. – с. 35 – 37.
30. Закалов О. В. Визначення тиску консистенції тіста на стінку місильної камери / О. В. Закалов, І. Я. Стадник // Рибне господарство України. Науково-виробничий журнал – № 7. – 2008. – с. 85-86.

Особистий внесок: обґрунтування та постановка задачі, розроблення інформаційної технології проектування.

33. Стадник І. Я. Шляхи зниження енергозатрат при замішуванні тіста / І. Я. Стадник // Вісник ТДТУ. – 2008. – № 1. – с. 110 – 114.
34. Стадник І. Я. Розрахунок колової швидкості в тістомісильній машині періодичної дії / І. Я. Стадник, В. Ф. Федів // Вісник ТДТУ. – 2008. – № 4. – с. 61 – 67.

Особистий внесок: розроблення розрахункової схеми та концепція розроблення досліджень робочого органу.

35. Стадник І. Я. Властивості хліба, випеченого з борошна грубого помелу / І. Я. Стадник // Стандартизація Сертифікація Якість. – 2006. – № 3. – с. 56.–57.

Особистий внесок: наукове обґрунтування запропонованих рішень.

36. Патент на корисну модель №21204. Тістомісильна машина / І.Я. Стадник, О.Т. Лісовенко (Україна); МКИ21А21С; заявл. 20.11.06; опубл. 15.03.07.

Особистий внесок: наукове обґрунтування запропонованих рішень.

37. Патент на корисну модель №63698. Безлопатева тістомісильна машина / І. Я. Стадник, О.Т. Лісовенко(Україна); МПК А21С 1/06(2006.01); заявл. 17.02.10; опубл. 25.10.10; бюл. №20.

Особистий внесок: наукове обґрунтування запропонованих рішень.

38. Патент на корисну модель №34840. Тістомісильний орган / І.Я. Стадник. (Україна); МКИ21А21С; заявл. 15.03.08; опубл. 26.08.08.

39. Патент на корисну модель №44751. Пристрій для визначення реологічних властивостей тіста / І.Я. Стадник (Україна); ТНТУ імені Івана Пулюя; заявл. 10.04.09; опубл. 12.10.09; бюл. №19.

40. Патент на корисну модель №48533. Робочий орган тістомісильної машини / В. В. Васильків, І. Я. Стадник. П. П. Андрієшин (Україна); ТНТУ імені Івана Пулюя; заявл. 04.09.09; опубл. 25.03.10р.; бюл. №6.

Особистий внесок: обґрунтовано схему запропонованих рішень.

41. Патент на корисну модель №53030. Робочий орган тістомісильної машини / В.В. Васильків, І.Я. Стадник.(Україна); ТНТУ імені Івана Пулюя; заявл. 26.02.10; опубл. 27.09.10; бюл. №18.

Особистий внесок: обґрунтовано схему запропонованих рішень.

42. Патент на корисну модель №48531. Робочий орган тістомісильної машини / В.В. Васильків, І. Я. Стадник. П. П. Андрієшин (Україна); ТНТУ імені Івана Пулюя; заявл. 04.09.09; опубл. 25.03.10; бюл. №6.

Особистий внесок: наукове обґрунтування запропонованих рішень.

43. Патент на корисну модель №53029. Робочий орган тістомісильної машини / В.В. Васильків, І. Я. Стадник. Д. О. Радик 18 (Україна); ТНТУ імені Івана Пулюя; заявл. 26.02.10; опубл. 27.09.10; бюл. №18.

Особистий внесок: наукове обґрунтування запропонованих рішень.

АНОТАЦІЯ

Стадник І.Я. Науково-технічні основи процесів та розробка обладнання для високоефективного безлопатевого замішування тіста.– Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.12. «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв» – Національний університет харчових технологій, Київ, 2013.

Дисертація присвячена розв'язанню проблем енерго- та ресурсозбереження в хлібопекарській та переробній промисловості за рахунок упровадження вдосконаленого безлопатевого методу замішування з урахуванням стадійності процесу утворення в'язко-пружно-пластичного тіста і створення науково обґрунтованих засад технології отримання якісного хліба із застосуванням дискретно-імпульсної деформації на ДБМТ нового покоління. Вперше

запропоновано використовувати робочий орган у вигляді латунного з насічками барабана для збільшення зсувного деформування зони контакту суміші компонентів із забезпеченням імпульсного стискання маси тіста в період пластифікації пасивним вібраційним пристроєм. Детально розглянуто деякі фактори визначення інтенсивності процесу замішування.

Доведено енергетичні переваги та доцільність використання запропонованих технічних рішень дискретного безлопатевого замішування тіста-хліба. Вивчено особливості формування структури тіста-хліба та виявлено умови і можливий механізм упровадження вдосконалених процесів диспергування, перемішування та гомогенізації гетерогенних систем. Встановлено закономірності впливу різних видів деформацій при дотриманні стадійності замішування і визначено принципові напрямки забезпечення їх високої інтенсифікації. Розвинено уявлення та розроблено науково-технічні основи пластифікації, що ґрунтуються на використанні наноефектів структурного перетворення тіста-хліба. Розроблено, теоретично й експериментально обґрунтовано положення вдосконалення інтенсифікації технологічних процесів, вибору режимів при використанні ДБТМ.

Ключові слова: технологічний процес, структура, фізико-механічні властивості, дискретність деформації, стиснення, замішування тіста, пластифікація, гомогенізація.

АННОТАЦИЯ

Стадник И.Я. Научно-технические основы процессов и разработка оборудования для безопасного замеса теста. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.18.12. «Процессы та оборудование пищевых, микробиологических та фармацевтических производств». – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2013.

Диссертация посвящена решению проблем энерго-и ресурсосбережения в хлебопекарской та перерабатывающей промышленности за счет внедрения усовершенствованного безопасного метода замешивания с учетом стадийности процесса образования вязко-пружно-пластического теста и образования научно обоснованных решений соблюдения технологи производства качественного хлеба с применением дискретно-импульсной деформации на ДБМТ. Впервые предложено применение латунного месильного барабана с насечками, что увеличивает сдвиговые деформационные зоны контактирования компонентов и обеспечивает импульсное сжатие массы теста при пластификации, предохраняя

смешиваемые компоненты от избыточной механической обработки и перегрева. Детально рассмотрены отдельные факторы, которые определяют интенсификацию процесса замешивания теста. Доказаны энергетические преимущества и целесообразность использования предложенных технических решений дискретного безопасного замешивания теста.

Разработано технологию замеса и элементы конструкции месильного оборудования, которые представлены технической системой ДБТМ со взаимосвязанными и взаимозависящими параметрами, способствующие физико-механическим свойствам исходных компонентов на стадиях их предварительного смешивания, окончательного замеса с механической обработкой теста за счет обоснования рациональных параметров процесса. Показано, что выбор рациональных параметров достигается за счет обоснования смешивания компонентов в тонком слое и разреженном потоке с образованием гомогенной массы при минимальной затрате энергии, а окончательная обработка теста осуществляется на пластикационном участке рабочей камеры, принцип работы основан на обминке.

Установлено, что интенсивность гомогенизации осуществляется в результате вихревого распыления твердой и жидкой фаз безопасным рабочим органом с последующей сдвиговой деформацией теста по обечайке рабочей камеры ДБТМ. Интенсивность процесса замешивания позволила сократить технологический цикл по изготовлению продукции с 6–8 часов до 2,5–3, что дает возможность уменьшить удельные затраты на замешивание теста.

Развитие процесса первой и третьей стадии замешивания описано на основе дифференциальных зависимостей. Моделирование развития замеса основано на дискретном представлении процесса в виде совокупности циклов идеального смешивания и идеального вытеснения (пластификации). Модели позволяют установить влияние отдельных факторов изменения концентрации на точность при смешивании и оптимизировать расчеты при оценке структуры гидродинамического потока на первой стадии замешивания.

Разработана новая математическая модель оценки уровня продольного перемещения, влияния режимов упрочнения на консистенцию теста. Моделирование гидродинамики движения компонентов в рабочей камере осуществлено по разработанной методике, а моделирование процесса пластификации – при разработанной конструкции (ПВП) консистометра. Это позволяет установить влияние безопасного рабочего органа на осуществление процесса замешивания и контролировать консистенцию теста. Экспериментально установлена возможность управления качеством работы ДБТМ и физико-механическими свойствами теста.

Экспериментально и теоретически доказано, что распределение давления в замкнутом объеме теста при многократной нагрузке до 1,1МПа в процессе тестообразования является условием роста объема теста с первых минут его брожения. Вязкость и предельное напряжение сдвига в течении всего процесса брожения и в его конце превышают показатели почти в 2 раза по сравнению с существующим замесом. Более быстрое накопление кислот в тесте свидетельствует об интенсивности окислительных процессов, ускоряющих созревание теста из-за образования прочных белково-протеиновых комплексов, дополнительных водородных связей, что способствует замедлению очерствения продукции до 72 часов.

Показано, что многократное обжatie теста при пластификации гомогенизирует структуру теста и увеличивает его плотность. Изучены распределение и стабилизация давления в условиях дросселирования определены основные динамические, энергетические и технологические характеристики процессов замешивания для различных режимов течения и видов теста.

Установлено, что способ дискретного безлопастного замешивания теста существенно влияет на качество хлеба, его объем увеличивается на 10%, пористость – на 4%, мякиш более светлый и эластичный, пористость равномерная, мелкая, тонкостенная. При скоростном замесе теста в ДБТМ существенно снижались затраты на усушку, уменьшались энергозатраты, что подтверждает перспективность данного принципа действия с достаточно большим экономическим эффектом.

Ключевые слова: технологический процесс, структура, физико-механические способности, дискретность деформации, сжатие, замешивание теста, пластификация, гомогенизация.

ABSTRACT

Stadnyk Igor Ya. Scientific and technical basis of processes and equipment development for vaneless dough kneading.– Manuscript.

Thesis for the Doctor of Engineering Degree – Speciality 05.18.12 – "Processes and Equipment for Food, Microbiological and Pharmaceutical Production" – National university of food technologies, Kiev. Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2012.

The thesis is dedicated to solving problem of energy-saving as well as resource-saving in the baking and processing industry by introducing advanced

shovellessblending method subjected to vicissitude of the process of viscous-elastic-plastic dough formation and also to the origination of science-based principles of high-quality bread production technology using discrete-pulse deformation on DBMT of a new generation. The usage of working body in the form of brass barrel with incisions in order to increase the deformation shift of the components mixture contact zone with the securing of the dough paste pulse compression during plasticization, was proposed for the first time. Specific factors that define the kneading process intensification are examined in detail.

Energy benefits and appropriateness of the proposed technical solutions usage on the discrete-shovelless dough kneading is proven. The peculiarities of forming dough-bread structure are studied and discovered the conditions and possible introduction mechanism of improved processes of dispersion, blending and homogenization of heterogeneous systems. Influence regularity of different types of deformations under kneading vicissitude keeping is determined and principal directions of assuring their high intensification are defined. A concept is accomplished and scientific and technical bases of plasticization, based on the use of nano-effects of structural transformation dough-bread are developed. Statements on intensification improvement of technological processes of the mode selection using DBTM are developed and then theoretically and experimentally proven.

Keywords: technological process, structure, physical-mechanical properties, deformation discreteness, compression, kneading, plasticization, homogenization.