

УДК.664.64.014

## ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ ТРИСТАДІЙНОЇ МОДЕЛІ ЗАМІСУ ТІСТА

Янаков В. П. к.т.н., доц.,

Івженко О. В. к.т.н., доц.,

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

*Тел./факс (0619) 42-13-06*

Самек Я. В. інж.

*Керівник представництва ТОВ “Агрозахист Донбас”*

*Тел./факс (06239) 2-14-07*

**Анотація** — стаття присвячена аналізу процесів, які протікають при замісі тіста. Оптимізація процесу замісу тіста стосується визначення часу, якості і різноманітність процесів перемішування тіста. Від визначення рівня енергетичного впливу тістомісильних машин залежить вибір методів, якими досягаються найліпші технологічні показники тіста. Вирішення питання вдосконалення процесу перемішування тіста ґрунтується на детальному аналізі якісних перетворень.

**Ключові слова** — заміс тіста, рівномірний стан, структура, властивості, частинка.

*Постановка проблеми.* При здійсненні технологічного процесу замісу хлібопекарного тіста в тістомісильній машині, доцільно виділити головні експлуатаційні показники, до яких відносяться:

- енерговитрати;
- ремонт і прогнозування;
- технологічні витрати на підготовлення перемішуваної сировини;
- рівень якісних показників по тісту.

Для прийняття аргументованих рішень з використання тістомісильної машини, доречно з'єднати суперечливі системні дослідження структури технологічної операції в співставленні їх корисності та вартості від їх реалізації енерговитрат на протікання з метою забезпечення необхідної економічної рентабельності технологічного процесу при мінімально допустимих загальних витратах.

*Аналіз останніх досліджень.* Основні дослідження тістомісильного обладнання спрямовані на підвищення ефективності їх роботи. Вони реалізуються за наступними напрямками:

- зниження енерговитрат;
- контроль технологічного процесу;
- визначення змін, які протікають в сировині, що перемішується;
- контроль часу замісу хлібопекарного тіста.

Так, Шашин В.М. провів теоретичні і експериментальні дослідження гідродинамічної природи. Отримані ним дані поведінки місильних органів різноманітних форм і видів, підвідних крил, корпусних виробів і плаваючих тіл, базуються на ідентичній фундаментальній базі — теорії гідромеханіки. Як показали дослідження підвищення результативності тістомісильних машин, було отримано при умові створення максимальних комфортних умов для перемішуваної сировини та контролі процесу. Але, на жаль в дослідженнях не висвітлено питання управління турбулентністю і величиною гідродинамічних навантажень на поверхні тіл, які контактують [1].

Віброакустична діагностика машин і механізмів — одне із спрямувань досліджень Генкіна М.Д. і Соколової А.Г. [2]. У проведених дослідках було вивчено глибокий спектр механізмів, процесів, характеристик:

- підшипникових вузлів;
- зубчатих механізмів;
- механізмів на всіх етапах виготовлення і експлуатації;
- розпізнавання технічних станів обладнання.

Отримані показники на основі теорій розпізнавання образів та вібракустичної діагностики. Опираючись на віброакустичне діагностування ними було сформульовано ознаки несправностей в умовах експлуатації обладнання. Але в дослідженнях не розглядалася проблема оптимізації показників віброакустичного діагностування і вібраційного впливу при замісі тіста.

У своїх дослідженнях Сичов В.В. [3] вивчав складні термодинамічні системи при енергетичному впливі машини на середовище. Дослідження були цілеспрямовані на визначення рівноваги термодинамічних систем при здійсненні робіт: розширення, зміна температури, трансформація умов провідності середовища і поведінки пружних твердих тіл в ситуації перемінних навантажень. Ним були одержані дані по застосуванню і прогнозуванню систем з перемінною кількістю речовини в період впливу, основні термодинамічні співвідношення для рідинних систем. Але у дослідженнях не розроблені питання динамічного корегування

термодинамічних систем в період завантажування продуктів з урахуванням енергетичного впливу обладнання.

Проведенні дослідження задають напрямки новітніх досліджень тістомісильного обладнання і напрямки підвищення ефективності їх роботи. В основі збільшення продуктивності замісу хлібопекарного тіста лежить спроможність результативної практичної реалізації останніх теоретичних досліджень процесу перемішування. Це, в свою чергу, приводить до отримання високоякісних хлібопекарних виробів.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою цієї статті являється аналіз процесів, які протікають в період замісу тіста, визначення умов, меж і можливостей оптимізації перемішування і супровідних процесів. Створення достатніх умов перемішування початково неоднорідної сировини визначає кінцеву ефективність тістомісильних машин.

*Основна частина.* Структурний аналіз процесів формування тістоприготування в результаті енергетичного впливу тістомісильної машини на всіх етапах приготування тіста дозволяє визначення диспропорції в формуванні тіста, а також формулювання умов, при яких протікають процеси тістоприготування вхідних компонентів до отримання якісного тіста є кінцевим показником функціонування технологічної операції — заміс тіста [4].

**Механічне перемішування компонентів — перша стадія процесу замісу тіста.** У цілому цю стадію можна розглядати як процес утворення механічної суміші з урахуванням насичення киснем вихідних компонентів тіста, досягнення рівномірності концентрації складових по всьому об'єму.

Відповідно, перший період замісу необхідно здійснювати з великою інтенсивністю, тому що тільки в цьому виконано можливо досягти ефекту рівномірного перемішування вихідних компонентів: солі, дріжджів, борошна, води, повітря і рецептурних добавок. При цьому слід забезпечити мінімальні витрати енергії на створення однорідної суміші з досить рівномірним розподілом по всьому перемішаному об'єму концентрації твердих компонентів у рідкій фазі. При цьому треба враховувати, що найефективніше змішуються порошкоподібні тверді речовини і рідини на поверхні контакту фаз.

Досягнутий рівномірний стан суміші нестійкий. За малої швидкості проходження стадії замісу тіста технологічна операція буде супроводжуватися швидким ростом когезиційних процесів, що призводить до осмотичного набрякання частин борошна, а це гальмує процес утворення тіста. Даний ефект пояснюється зміною величини сили тертя між частинками борошна через появу вихрового характеру перемішування частинок, компонентів тіста, що й призводить до збільшення енергетичних затрат на заміс тіста. У цей час рідина

поглинається твердими частинками, що приводить до збільшення кількості вологи між частинками й підвищенню вологості вихідних компонентів. Дифузія інгредієнтів суміші, спочатку неоднорідної системи, сприяє виникненню необоротних процесів на поверхні контакту вихідних компонентів.

Зміна характеристик компонентів суміші в зоні суміжного шару приводить до планомірного перебігу процесу перемішування маси і отримання стабільних параметрів стану тістоприготування. В результаті аналізу експериментальних даних встановлено вплив вологості борошна на процес перемішування маси. Аерація системи сприяє збільшенню швидкості обмінних процесів, що в цілому відображається на насиченні киснем розчину тістових компонентів, сприятливо позначається на нормалізації газопроникності й газообміну в середовищі тіста. При цьому насичення тіста киснем приводить до інтенсивного процесу каталізу окислювання, що проходить за місильним органом, і сприяє турбулентному плину суміші, забезпечуючи специфічний вид змішування компонентів. Турбулентне переміщення інгредієнтів, поза місильним органом, створює можливість руху частинок, що відірвалися від місильного органа елементів суміші.

Зміна агрегатних станів солі, дріжджів, борошна, рецептурних добавок, води й повітря приводить до якісної зміни цих речовин. У цілому першу стадію тістоприготування можна характеризувати як період активних сорбційних процесів. Абсорбційні взаємодії відбуваються у всьому перемішуваному об'ємі. При цьому адсорбційні процеси інтенсивніше проходять на поверхні суміші. При повільному перемішуванні виникають десорбційні процеси, що приводять до поділу компонентів. Процеси, що протікають в період замісу тіста, підтверджують і наші допущення на рисунку 1. Наведена структура тристадійної моделі замісу тіста.

Як показано на рисунку 1, на першій стадії замісу закладається початок формування необхідної структури тіста із заданими властивостями. Місильний орган, взаємодіючи із сумішшю, визиває перебіг ряду специфічних процесів. На цьому етапі величезну роль відіграють мікробіологічні, біохімічні, фізичні й колоїдні реакції, що відбуваються в тісті, залежно від типу застосовуваного місильного органа. Інтенсивність мікробіологічних процесів залежить від дріжджів і кислотоутворювальних бактерій борошна. Проте у перший період замісу тіста вони істотно не впливають на хід тістоприготування. За дослідженнями, на даній стадії борошно адсорбційно зв'язує воду. Частинки контактують не тільки на поверхні, а й у повному об'ємі. Під час набрякання відбувається екзотермічний процес. Надалі під час замісу тіста суміш захоплює й

утримує (оклюзія) бульбашки повітря. Частина бульбашок має вигляд емульсії газу в рідкій фазі суміші, а інша — в набухлих білках суміші у вигляді газових бульбашок. Збільшення поглинання об'єму води активізує дії ферментів, що в цілому визначає процеси набухання й пептизації білків і розрідження суміші.

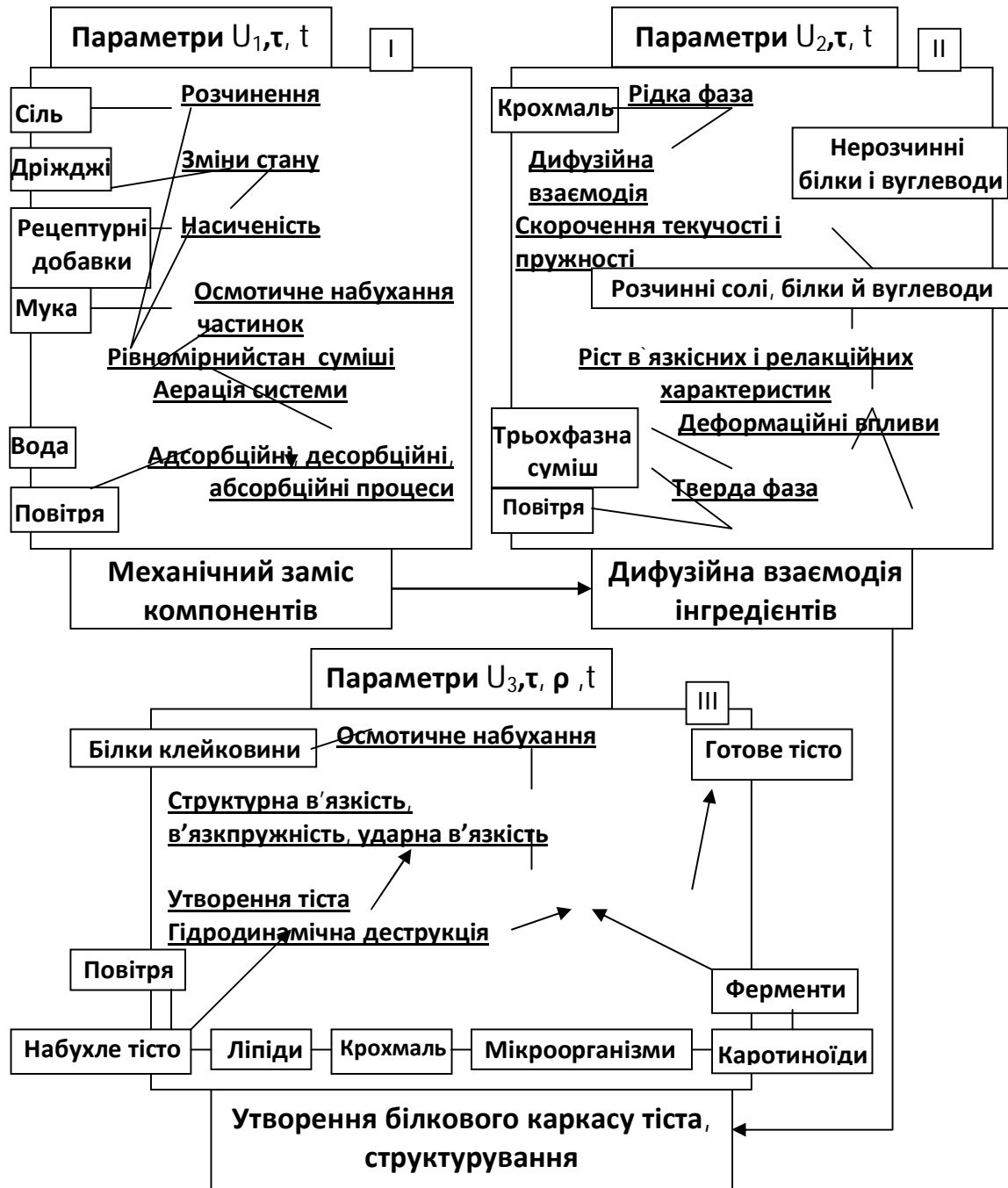


Рис. 1. Структура тристадійної моделі замісу тіста: I — механічний заміс компонентів; II — закінчення дифузійної взаємодії сухих компонентів і рідини; III — структурування, утворення білкового каркасу і характеристик тіста.

Наявність солі змінює швидкість перебігу реакцій дріжджів і фізичні властивості клейковини й суміші, що в цілому надалі впливає на смакові параметри хліба. Тобто внесення солі в тісто й опару технологічно доцільне. Крім того, при цьому зменшується піноутворення, спочатку збільшуючи й надалі стабілізуючи піднімальну силу дріжджів.

Рецептурні добавки допомагають одержати тісто з необхідними фізичними властивостями. Їх уведення в тісто зумовлюється потребою одержання специфічних видів хлібобулочної продукції. Більшою мірою їх роль відіграється у разі додавання цукру й жиру. Цукор визначає поглинання води білками борошна. Ці властивості виявляються на початку формування структури тіста. Від вмісту цукру також залежить швидкість набухання крохмалю й білків борошна. Завдяки цим властивостям цукор є добрим пластифікатором. Жири, що містяться у тісті, визначають усмоктування колоїдами борошна води. Реагуючи з білками й крохмалем, вони утрудняють доступ рідкої фракції до колоїдних частинок, що забезпечує збільшення пластичності й зниження в'язкості.

Тісто після першої стадії замісу можна охарактеризувати як складну дисперсну систему. Ступінь однорідності отриманої маси тіста описує ефективність проходження тістоприготування. Проте короткий часовий проміжок даної стадії не дає інгредієнтам вступити в стійкі реакції. Як показують дослідження, подальші етапи розвитку тістової структури, закладені в другій стадії замісу, зумовлюють фізичні властивості тіста.

**Особливості протікання другої стадії замісу тіста.** Особливістю другої стадії є закінчення дифузійної взаємодії сухих компонентів і рідини, рівномірне перемішування й утворення тіста. У початковий період стадії тісто є трифазним середовищем, що складається з рідкої, твердої й газоподібної фаз. У свою чергу тверда фаза на даному етапі поділяється на крохмаль, розчинні солі, білки й вуглеводи, нерозчинні білки й вуглеводи. Цей розподіл залежить від характеру взаємодії з рідиною і її реакції на вплив місильного органа. У кінцевій фазі замісу прореаговані компоненти являють собою набухле тісто й повітря.

Друга стадія замісу зумовлюється характерним типом взаємодії вихідних компонентів. Ці процеси можна проілюструвати в такий спосіб: на початковому етапі рідка й тверда фази взаємодіють за типом гідролітичних реакцій. Вони зумовлені гідрофільними й гідрофобними видами контакту, що приводять ці процеси до росту когезійних і адгезійних властивостей тіста. При цьому взаємодія частинок борошна з водою приводить до збільшення об'єму набухлої маси й на даному етапі є позитивним ефектом.

Концентрація компонентів прагне до однорідного рівня по всьому об'єму перемішуваної маси. Деформаційні впливи, що виникають від контакту тіста з місильним органом, сприяють прискоренню дифузійних процесів. Гідратація розчинних складових зумовлюється сорбційними процесами. Для розчинних компонентів характерний абсорбційний тип реакцій. Для нерозчинних інгредієнтів властивий вид адсорбційної взаємодії. Для крохмалю типове хемосорбційне сполучення. Відбувається ріст в'язкісних і релаксаційних характеристик, скорочення плинності й стискальності структури, що утворилася.

Деформаційні процеси на цьому етапі вже здійснюються завдяки зрушенню, стиску й розтягу тіста, спричиняючи ріст енергоспоживання через збільшення в'язкопружності, внутрішнього тертя між частинками тіста перемішваного об'єму. Розчинення інгредієнтів приводить до утворення клейковинного скелета, що збільшує об'єм суміші. Як показано в дослідженнях, околюзійний тип реакцій доводить компоненти до інтенсивного поглинання повітря, і тісто активно зв'язує газоподібні складові. Частинки борошна в результаті дифузії води потрапляють усередину компонента, осмотично набухають без виділення тепла. Процес змочування й поглинання рідкої фракції (збільшення об'єму від початкового) розподіляється між білками в такий спосіб: альбумін, глобулін — без обмежень, глютерин і глегадин до 200 %. Особливістю білків клейковини є великий розбіг у складових системи з різною молекулярною масою й різною здатністю водопоглинання.

Сіль на даному етапі перебуває у вигляді розчину. Вона впливає на здійснюваний процес замісу і його енергоємність, а також на стійкість фізичних властивостей тіста і його консистенцію. Консистенція залежить від рівня концентрації солі на даний момент. При цьому варто враховувати те, що вона помітно впливає на консистенцію тіста. Збільшення еластичності тіста під впливом солі уже стає граничним на даному етапі. Слід зазначити, що максимальне її збільшення прямо залежить від кількості солі, введеної в тісто. Нерозчинні у воді білки й вуглеводи утворюють клейковину (гліадин і глютеїн). У процесі замісу тіста вони приєднують рідину осмотично й поверхово. Осмотичне набухання молекул білка відбувається внаслідок дифузії води. Реакція гідратації приводить до набухання білків. Клейковина набухає й утримує рідку фазу в об'ємі, що перевищує первісний об'єм у 2 - 2,5 рази.

Як показали дослідження, у цей момент замісу, тісто являє собою дисперсну систему, утворену твердою, рідкою й газоподібною фазами. Співвідношення цих складових визначає фізичні властивості тіста. Тверда фаза представлена набухлими нерозчинними у воді

білками, зернами крохмалю й частинками оболонки, які надалі надають тісту пластичності. Компонентами рідкої фази є вода, не зв'язана адсорбційно, водорозчинні речовини органічного й мінерального походження, набухлі пентозани (слизи) борошна, вільна в'язка рідина. У цей період загальна кількість рідких компонентів може досягати 47 % об'єму тіста. Основна частина на даному етапі рідкої фази тіста осмотично зв'язана білками. Газоподібна фаза складається з бульбашок повітря, захопленого й утримуваного тістом (околюзії), бульбашок вуглекислого газу, виділеного дріжджами у процесі шумування, приблизно 10 % загального об'єму. Цей склад газоподібної фази відіграє визначальну роль у появі наступної пористості м'якушки хліба, при цьому вона розподілена в такий спосіб: газові бульбашки, що містяться у білках тіста, емульсія газу в рідкій фазі тіста. На цьому другому етапі процес тістоприготування закінчується, але для підвищення якості тіста необхідно провести його пластифікацію.

**Пластифікація тіста – третя стадія замісу тіста.** Третя стадія замісу тіста – характеризується утворенням білкового каркасу тіста, структуроутворенням, виникненням і розвитком формоутримувальних і газоутримувальних характеристик тіста.

На цьому етапі замісу тіста тістова маса і повітря піддаються посиленій механічній обробці, забезпечуючи інтенсивне поглинання повітря по всьому об'єму тіста. У цьому разі процеси околюзії подібні абсорбційним. Проте околюзована газова суміш реагує з тістом й повністю поглинається нею. Поглинене повітря, а саме його частина – кисень, інтенсифікує процеси окиснювання в тісті. Відбувається швидке поглинання газової фази структурними компонентами тіста, яке забезпечує утворення в тісті інтермолярних зв'язків, що приводять до появи молекул гігантів. Цей ефект досягається завдяки структурі компонентів, що забезпечують ріст концентрації полімерних зв'язків.

Як показали дослідження, в цій фазі підвищується температура й вологість тіста. Структурні складові характеризуються однаковим хімічним складом, що утворює просторове розміщення й форму зерен. У результаті підвищення температури й вологості відбувається структурне зміцнення тіста, що забезпечує одержання заданих формоутримувальних властивостей. Структурна в'язкість пояснюється виникненням композиції тістових елементів, які за властивостями відповідають готовому тісту. Цей процес багато в чому визначається інтенсивністю впливу місильного органа. Затрачувана робота витрачається на подолання в'язкопружності, ударної в'язкості, руйнування наявних з'єднань і завдання напрямку переорієнтації молекул у потоці за місильним органом.



Інтенсивна механічна обробка тіста необхідна для створення умов розпаду макромолекул клейковини, клейковинного скелета, появи клейковинних плівок і стабілізації структури тіста та її роздроблення. На даному етапі особливу роль відіграють технічні характеристики й параметри місильного органа. Для одержання тіста рівномірної консистенції необхідно забезпечити робочому органу режим відривного плину, тому що в цьому разі в суміжному шарі відбуваються процеси розтягу — стиску й зрушення макромолекул. Як показали дослідження, за робочим органом утворюється приєднувальний вихор, що впливає на інтенсивність тістоприготування й сприяє прискореному тістоприготуванню. Проте швидкість перебігу процесів пластифікації зумовлюється не тільки характером механічного впливу місильного органа, а й можливістю утворення за цієї умови нових білкових структур.

На цьому етапі пластифікації тіста білки клейковини утворюють губчатий “каркас”, властивості якого більшою мірою визначають основні фізичні характеристики тіста: розтяжність і пружність. Крім цього, в даний період макромолекули клейковини зазнають внутрішніх і зовнішніх змін. Частинки поліпептидів збільшуються в об’ємі, що приводить до зміни форми й складу білків і появи клейковинних плівок. При цьому відбувається інтенсифікація процесів взаємодії по всьому об’єму. В результаті виникають молекули-гіганти з молярною масою до ста тисяч. Ліпіди визначають місця контакту колоїдних частинок борошна, послабляючи їх взаємодію й знижуючи інтенсивність процесу проникнення вологи, що значно впливає на зниження еластичності й збільшення пластичності тіста. Якісний склад й об’єм ліпідів вагомо змінює механізм та ефект пластифікації. Під час замісу частинки ліпідів рівномірно розподіляються в об’ємі тіста у вигляді найтонших плівок, що істотно впливає на процес утворення пористої структури тіста.

У цей період компоненти тіста перебувають під впливом ферментів борошна й продуктів, отриманих від реакцій із дріжджами й кислотоутворювальними бактеріями тіста. Під час інтенсивного замісу вплив гідралічних ферментів спрямований на зниження консистенції тіста, а за інтенсивністю швидкості реакцій вони часом випереджають набухання частинок борошна. Виділене тепло посилює вплив ферментів. Структурні компоненти борошна потрапляють під вплив ферментів пентозани. Ефективний вплив на дію ферментів чинить кислотність тіста. Незважаючи на їх незначну масу в борошні, вони відіграють важливу роль у біохімічних процесах тістоприготування.

Збільшення кількості мікроорганізмів позначається на зміні кислотності тіста, наступному бродінні й структуроутворенні. У свою

чергу, на життєдіяльність мікроорганізмів впливають об'єм цукру і жиру в тісті. Процеси, що відбуваються під їх впливом, не завершуються по закінченні замісу, а тривають і у період розшарування тіста. Групі каротиноїдів приділяється помітна естетична роль – вони надають хлібобулочним виробам привабливий бурштиново-жовтий колір. У загальному об'ємі борошна вони займають досить малу частку. При цьому їх структурний склад такий: каротин, ксантофіл, ефіри ксантофілу. На частку ксантофілу припадає 90 %, а на частку його ефірів і каротину – по 5 % на кожний склад каротиноїдних пігментів. Найактивніші з них – каротин, провітамін А.

У даний період замісу відбувається процес гідротермічної деструкції: розрив полісахаридних ланцюжків, перетворення крохмальних зерен у загальну гелеоподібну драгледоподібну масу зі збільшеним поглинанням води. Як показали дослідження, крохмаль — високомолекулярний полімер, що містить два типи полісахаридів: амілазу й амілопектин. На його частку припадає чотири п'ятих сухої речовини борошна. В пшеничному крохмалі амілози 24 % і амілопектину 76 % (у середньому). В результаті інтенсивної механічної обробки його структура стає основною характеристикою готового тіста.

Розглянутий матеріал дає можливість визначити роль і вплив інтенсифікації процесу замісу тіста на зміну фізичних, біохімічних і мікробіологічних його процесів, що, в кінцевому підсумку, підтверджується і дослідженнями тристадійної моделі замісу тіста. Викладені підходи до процесу тістоприготування дають змогу представити їх.

*Висновки.* Проведені дослідження процесів тістоприготування показали можливість оптимізації енергетичного впливу тістомісильної машини в період замісу тіста:

- Розглянута структура тристадійної моделі замісу тіста.
- Сформульовані напрямки новітніх досліджень тістомісильного обладнання і напрямки підвищення ефективності їх роботи.
- Основою збільшення продуктивності замісу хлібопекарного тіста є практичне застосування теоретичних досліджень до процесів перемішування.
- Розглянутий матеріал дає можливість визначити роль і вплив інтенсифікації процесу замісу тіста на якість тіста, що в кінцевому підсумку впливає із досліджень тристадійної моделі замісу тіста.

## Література:

1. Янаков В.П. Обґрунтування параметрів і режимів роботи тістомісильної машини періодичної дії: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.12. – “Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв” / В.П. Янаков. – ДонУЕТ., – 2011. – 20 с.
2. Шашин В.М. Гидромеханика / В.М. Шашин. – М.: Высш.шк., 1990. – 384 с.
3. Сычёв В.В. Сложные термодинамические системы / В.В. Сычёв. – М.: Энергоатомиздат. 1986. – 208 с.
4. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М.: Машиностроение. 1987. – 288 с.

## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ ПРИ АНАЛИЗЕ ТРЁХСТАДИЙНОЙ МОДЕЛИ ЗАМЕСА ТЕСТА

Янаков В.П., Ивженко О.В., Самек Я.В.

*Аннотация* — статья посвящена анализу процессов протекающих при замесе теста. Оптимизация процесса замеса теста направлена на определение времени, качества и разнообразия процессов перемешивания теста. От определения уровня энергетического воздействия тестомесильных машин зависит выбор методов, какими достигается наилучшие технологические показатели теста. Решение вопроса совершенствования процесса перемешивания теста основывается на детальном анализе качественных преобразований в данный период.

## BASIC WAYS TO ANALYZE A THREE STAGE MODEL DURING THE DOUGH MIXING PROCESS

V.Yanakov, O.Ivzhenko, I.Samek

### *Summary*

The article takes on analyzing processes that take place during the dough mixing. Time, quality and diversity of processes of dough mixing are influenced by diversity of approaches. Improvements of dough mixing process is based on proving detailed analysis of quality during a given time which allow to record data for different parameters and select optimal scenarios under which the best results are achieved.