

Differential equations which describe movement of discrete-continual systems during unsteady (transitional) processes are presented. One may use these equations for improvement and clarification of existing engineering techniques and for analysis of such systems, as well.

Mathematical simulation, discrete-continual systems, optimization of motion regimes.

УДК 664.641.1

ДОДЕРЖАННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ВОЛОГОСТІ ТІСТА ПРИ ЗАМІШУВАННІ

І.Я. Стадник, кандидат технічних наук

М.Р. Коневич, аспірант

***Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя***

***В.П. Василів, кандидат технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України***

У статті проведено аналіз методів контролю процесу замішування тіста, розглянуто основні чинники, які впливають на процес тістоутворення. Запропоновано математичну модель процесу замішування тіста, та нові конструктивні рішення для тістомісильних машин, які дозволять інтенсифікувати процес замішування та підвищити якість тіста.

Процес замішування тіста, вологість тіста, тістоутворення, методи контролю якості тіста, робоча камера тістомісильної машини, коефіцієнт неоднорідності, пластифікація тіста.

Постановка проблеми. Широке впровадження в хлібопекарській промисловості інтенсивного процесу замішування супроводжується підвищеними вимогами до якості готової продукції. Якість визначається точністю додержання заданого рецептурного складу тіста – особливо його вологістю. При цьому, точність компонентів визначається роботою дозуючого обладнання та конструкцією тістомісильної машини при відповідних режимах її роботи.

© І.Я. Стадник, М.Р. Коневич, В.П. Василів, 2013

Вологість тіста – один із обов'язкових параметрів контролю його якості. Як відомо, контроль і регулювання вологості тіста являє собою актуальну задачу, рішення якої дозволяє в подальшому автоматизувати процес замішування та прискорити створення автоматизованих ліній для приготування хлібобулочних виробів. Відсутність контролю за перемінними параметрами технологічного процесу не дозволяє спеціалістам своєчасно внести корективи в роботу обладнання, особливо в процесі замішування напівфабрикатів. До таких параметрів відносяться: кількість дозуючого борошна та компонентів; відхилення в температурі води, яка поступає на замішування; тривалість замішування і т.д. Відхилення вказаних параметрів, а також неякісна механічна обробка компонентів в робочій камері тістомісильної машини, призводить до порушення усього технологічного процесу та погіршення якості продукції. В даному випадку особливо важливо правильно обрати методи та засоби дозування компонентів і їх контроль за параметрами в процесі замішування тіста.

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що вибір оптимальних параметрів замішування – тривалість замішування, послідовність дозування борошна, дріжджів і добавок, температура води і тіста в процесі замішування (початкова і кінцева) – задача виробничо-технологічної лабораторії підприємства.

На сьогоднішній день найбільш поширений метод визначення вологості заснований на сушінні проби до постійної маси та зважування її до і після сушіння.

Ці методи лабораторні та складні, їх важко автоматизувати. Тому значна увага приділяється роботі по автоматизації контролю вологості тіста, що спрямована на удосконалення якості технологічного процесу тістоутворення в робочій камері машини. Існують різні методи контролю вологості тіста.

Зокрема відомий метод, суть якого полягає у створенні системи автоматичного регулювання роботи дозаторів, які повинні забезпечити велику точність дозування інгредієнтів, що дозволить підтримувати задану вологість тіста на постійному рівні. Вологість тіста при цьому може регулюватися витратою води на замішування в залежності від вологості борошна при стабільних витратах інших компонентів.

Також були розроблені методи вимірювання, засновані на залежності деяких електричних характеристик тіста від вологості, наприклад кондуктометричний і діельколотричний.

Так, В.Н. Авраленко, В.Д. Попов, А.А. Заїка надають перевагу такому методу визначення вологості як інфрачервоний - фотометричний. В основу даного методу покладено вимірювання

вибіркового поглинання водою інфрачервоного випромінювання визначеної довжини хвилі, що проходить через тісто, або відбитого його поверхнею.

Великий інтерес викликає вивчення кореляційного зв'язку між структурно-механічними параметрами, які входять в прийнятий метод контролю якості тіста і які можна контролювати автоматично. Так М.М. Благовещинський, І.К. Титров, С.А. Мачихін, С.В. Сорокін вивчали залежність між вологістю тіста і його в'язкістю, яку можна контролювати автоматично. На їх думку, висока кореляційна залежність між вологістю і в'язкістю тіста дає можливість впровадження автоматичного контролю одного із показників стану тіста, шляхом визначення його в'язкості.

Але ні один із розглянутих методів контролю вологості не забезпечує якісного замішування.

У більшості тістомісильних машин вітчизняного та закордонного виробництва, напівфабрикат у робочій камері замішується робочими органами різної конфігурації. Тому в умовах виробництва бажано мати надійні об'єктивні методи визначення консистенції тіста для заміни органолептичних методів його оцінки.

Встановлено також [1, 2], що на системні змінні процесу і характеристики тістоутворення можуть впливати: кількісний і якісний склад інгредієнтів тіста; специфіка дії вібродозатора борошна; конфігурація місильного барабана і пластифікатора; режими трьох стадій замішування – температура, тривалість і, головне, тиск. Змінюючи вказані фактори, можна визначити раціональні умови проведення замішування для отримання різних видів тіста.

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

Враховуючи швидкий розвиток і великі можливості сучасної обчислювальної техніки, при розв'язанні проблеми визначення раціональних параметрів процесу замішування і дальшої розробки відповідного обладнання варто користуватися методами математичного моделювання. У галузі замішування математичне моделювання застосовують досить широко, але замішування тіста безлопатевим робочим органом і регулятивною поверхнею пластифікатора – вперше [3, 4].

Ряд авторів [5, 6] створили класичні математичні моделі, побудовані на рівняннях збереження руху в'язкого матеріалу, які враховують аномалію в'язкості. Однак в них передбачено перетворення отриманої системи диференціальних рівнянь до

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

Реологічні рівняння, що використовуються, не можуть задовільно описати поведінку дріжджового тіста з характеристиками пружно-пластично-в'язкого матеріалу. Тому потрібно знайти інший вираз для рівняння стану, при якому залежність в'язкості від зовнішніх умов має характеризувати саме тісто відповідної рецептури. Отже визначення консистенції тіста – це час утворення, його пружність і густина.

Досі при розгляді робочих процесів замішування тіста звертали увагу здебільшого на утворення однорідної консистенції тіста при інтенсивній обробці компонентів у робочій камері машини. В роботах [1, 2, 4] детально розглянуто черговість і тривалість дозування компонентів, суттєвий вплив місильного органу і процес стискування на зміну його властивостей при сприянні конструкції пластифікатора.

З огляду стадій замішування тіста можна сказати, що найбільш характерним показником роботи тістомісильної машини є рівномірність замісу при оптимальній тривалості та завантаженості робочої камери. Це сприяє вирівнюванню концентрації окремих компонентів. Цей показник дозволяє оцінити співвідношення рецептурних компонентів і дотримання стадійності управління процесом замішування. Використовуючи дану методику визначення взаємодії стадій замішування, можна обґрунтувати їх основні закономірності, встановити раціональні параметри процесу замішування, та визначити розміри основних конструктивних елементів машини.

Таким чином, з короткого аналізу особливостей контролю і регулювання вологості тіста в процесі замішування випливає, що проблема пошуку нових напрямків у харчовому машинобудуванні способів замішування, які вирішили б частково або повністю перераховані проблеми, як і раніше надзвичайно актуальна.

Результати досліджень. На основі ґрунтовного аналізу процесів встановлено, що під час змішування в об'ємі робочої камери тістомісильної машини частинки різних компонентів, які до перемішування існували окремо або перебували у неоднорідному стані, взаємно перемішуються. У результаті перемішування може бути нескінченно різне розміщення частинок в об'ємі робочої камери тістомісильної машини. За таких умов співвідношення компонентів у мікрооб'ємах суміші — величина випадкова, тому більшість відомих методів оцінювання однорідності (якості) суміші ґрунтується на методах статистичного аналізу. Для спрощення розрахунків замішування усі суміші компонентів умовно вважають такими, що складаються з двох компонентів: основного й умовного, до якого

входить решта компонентів. Такий метод дає змогу оцінити однорідність суміші компонентів за допомогою параметрів розподілу однієї випадкової величини – вмісту основного компонента в пробах суміші. Головним обирають той компонент, який легко аналізувати або розподіл якого в суміші дуже важливий за технічними вимогами. Таким критерієм оцінювання якості суміші є коефіцієнт варіації, %:

$$V_c = \frac{100}{c} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - c)^2}, \quad (1)$$

де c – середнє арифметичне значення концентрації головного компонента в усіх n пробах суміші, %;

c_i – концентрація головного компонента в i -й пробі суміші, %.

Щодо змішування тіста, то цим критерієм є коефіцієнт неоднорідності, оскільки з його збільшенням неоднорідність суміші зростає на перших хвилинах, а в подальшому, відбувається згладжування однорідності.

Так як потрібну масу проби суміші компонентів беруть залежно від прийнятого методу аналізу проб на вміст у суміші вологи, то аналіз експериментальних залежностей $V_c = f(t)$ (t – час замішування), отриманих при дослідженнях тістомісильних машин періодичної дії різних конструкцій, показав, що кінетична крива процесу замішування має три характерні ділянки. Кожна ділянка відображає певний у часі період змішування [7].

Фізика процесу замішування у тістомісильних машинах безперервної дії дещо відрізняється від розглянутого вище процесу, оскільки у таких машинах подача компонентів для замішування і видача готової суміші здійснюються безперервно. Зважаючи на це, якість замішування залежить не тільки від швидкості замішування і переміщення тіста в об'ємі робочої камери тістомісильної машини, а й від характеру дозування компонентів. Практично жоден дозатор не може забезпечити безперервний потік компонентів в точно заданій кількості у відповідний момент часу. Ці обставини потребують від головної функції машини (якісно перемішувати компоненти) додаткових умов — вирівнювати або «згладжувати» флуктуації живильних потоків, які забезпечують коливання співвідношення компонентів у готовій суміші в необхідних межах.

Отже, описати процес, що відбувається у робочій камері тістомісильної машини, можна як систему з вхідними та вихідними потоками і показати схематично у вигляді зв'язку між відповідними сигналами:

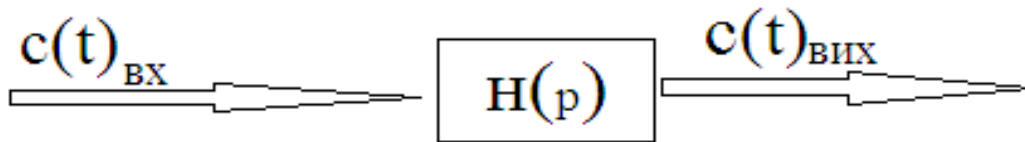
$$c(t)_{ВІХ} = A[c(t)_{ВХ}], \quad (2)$$

де $c(t)_{ВХ}$ – миттєве значення концентрації головного компонента у вхідному потоці;

$c(t)_{ВИХ}$ – те саме, але в готовій суміші;

A – оператор перетворення.

Сукупність математичних виразів A - це статистична характеристика системи. Вона не залежить від часу і визначається для процесу замішування схемою дії, що має такий вигляд:



де $H(p)$ – передавальна функція.

Запис оператора перетворення A у рівнянні (2) можна отримати, використовуючи динамічні характеристики системи середовища: вагову $h(t)$ і передавальну $H(p)$ функції. В даному випадку $h(t)$ – функція часу, яка описує реакцію системи в певний момент часу t на одиничну імпульсну функцію $\delta(t)$, що подається на вхід системи у момент часу $t - t_3$ (t_3 — незапізнення сигналу, тобто час проходження імпульсу крізь систему).

Одинична імпульсна функція, або дельта-функція: $\delta = \begin{cases} 0, & \text{якщо } t > 0; \\ \infty, & \text{якщо } t = 0. \end{cases}$

$$\int_0^{\infty} \delta(t) dt = 1. \quad (3)$$

Передавальна функція $H(p)$ є перетворенням Лапласа функції:

$$h(t) : H(p) = \int_0^{\infty} h(t) e^{-pt} dt, \quad (4)$$

де p – комплексна змінна ($p = a + ib$, де a і b – відповідно дійсна та уявна частини комплексного числа; $i = \sqrt{-1}$).

Використовуючи функцію $H(p)$, рівняння (2) для лінійної системи можна записати у вигляді:

$$C(p)_{\text{вих}} = H(p) C(p)_{\text{вх}} \quad (5)$$

де $C(p)$ – перетворена за Лапласом функція $C(t)$.

Враховуючи те, що пластифікація тіста ґрунтується на відповідно визначених процесах в робочій камері тістомісильної машини, це дозволяє встановити їхні закономірності і обчислити раціональні параметри окремих операцій.

Тобто ґрунтовно оцінити вплив конструктивних параметрів робочої камери, поверхні пластифікатора, поверхні робочого органа і їхніх конструктивних елементів на точність проходження процесу та властивості тіста після пластифікації, питомих споживання енергії,

надійність і тривалість роботи тістомісильної машини. Процеси на ділянці пластифікації тіста в робочій камері машини, мають свою специфіку.

Вони відбуваються циклічно за короткий період часу, що триває секунди. Тому при аналізі необхідно врахувати тільки ті процеси, що за короткий час пластифікації впливають на стан тіста і на сам процес замішування.

Обґрунтовуючи реакцію системи в процесі пластифікації в певний момент часу, було розроблено пристрій – пластифікатор. Дана конструкція пристрою дозволяє одночасно контролювати увесь процес в робочій камері машини та створювати вібраційне поле при утворенні тіста за рахунок наявних механічних зворотних зв'язків поверхні пластифікатора і рухомого тіста. Такий зв'язок дозволяє реалізувати широкий діапазон характеристик відновної пружної сили пружини на проходження процесу замішування, що відповідають певним передавальним $H(p)$ функціям нелінійності. Під ділянкою характеристик функцій нелінійності розуміється та ділянка, де відбувається перехід від нелінійного зменшення жорсткості до її нелінійного збільшення.

Висновок. Реалізація таких характеристик відбувається на розробленому пристрої, що може активно впливати на інтенсивність процесу замішування в тістомісильних машинах з U - подібною або циліндричною робочою камерою, та встановлювати консистенцію тіста, тобто оцінювати його готовність.

Список літератури

1. *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.
2. *Стадник І.Я.* Основи теорії пластифікації тіста / *І.Я. Стадник, О.Т. Лісовенко* // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2009. – №5. – С. 22–23.
3. *Кулен Р.В.* Математическое программирование (с элементами информационных технологий) / *Р.В. Кулен, Е.А. Юнькова, А.Б. Жальцов.* – К.: МАУП, 2000. – 124 с.
4. *Михайлишин М.С.* Моделювання процесу замішування тіста безлопатевим робочим органом / *М.С. Михайлишин, І.Я. Стадник* // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2011. – №9. – С. 22–23.
5. *Урьев Н.Б.* Физико-химическая механика и интенсификация образования пищевых масс / *Н.Б. Урьев, М.А. Талейсник.* – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 240 с.
6. *Федоткин И.М.* Математическое моделирование. Теория технологических процессов и их интенсификации / *И.М. Федоткин, И.С. Гулый.* – К.: Арктур–А, 1998. – 416 с.

7. Лисовенко А.Т. Технологическое оборудование хлебозаводов и пути его совершенствования / А.Т. Лисовенко. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 208 с.

В статье проведен анализ методов контроля процесса замешивания теста, рассмотрены основные факторы, влияющие на процесс тестообразования. Предложена математическая модель процесса замешивания теста, и новые конструктивные решения для тестомесильных машин, которые позволят интенсифицировать процесс замешивания и повысить качество теста.

Процесс замешивания теста, влажность теста, тестообразование, методы контроля качества теста, рабочая камера тестомесильной машины, коэффициент неоднородности, пластификация теста.

The paper analyzes methods of process control kneading, the main factors that affect the formation of dough. A mathematical model of the process of kneading, and new design solutions for giving shaft mixer machines that will intensify the process of mixing and improve the quality dough.

Process of kneading, dry dough, dough formation, quality control procedures dough mixing machine working chamber, coefficient of heterogeneity, plasticizing dough.

УДК 631.356

ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗБИРАННЯ КОРМОВИХ БУРЯКІВ

В.В. Теслюк, доктор сільськогосподарських наук

Наведено обґрунтування технологічного процесу розбивки поля кормових буряків на загінки при їх механізованому збиранні та засобів для його реалізації.

Кормові буряки, технологія збирання, розбивка поля, корененапрямник.

Постановка проблеми. Механізація збирання кормових буряків здійснюється гичкозбиральною МБК-2,7 та

© В.В. Теслюк, 2013