

УДК 664.653.122

Шпак М.С., к.т.н.

Чепелюк О.О., к.т.н.

Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ У ПРОЦЕСІ ЗАМІШУВАННЯ ХЛІБНОГО ТІСТА МЕТОДОМ ПІКОВИХ ТОЧОК

Найбільші витрати енергоносіїв при виготовленні хлібобулочної продукції відбуваються на етапі її випікання. Цей етап також суттєво впливає на якість виробів. Але не варто недооцінювати роль іншої стадії виробництва – замісу тістових напівфабрикатів і тіста. Від неї залежить рівномірність розподілу компонентів, майбутня структура виробів, здатність утримувати ними форму та інші якісні показники. Процес замісу також впливає на економічні показники роботи підприємства, оскільки енергетичні витрати при перемішуванні високов'язких рідин, до яких належить тісто, досить великі.

Приготування опари і тіста являє собою складний гідродинамічний та фізико-хімічний процес. Для змішування необхідних компонентів тіста і розвитку його структури використовують тістомісильні машини періодичної або неперервної дії з місильними органами різної форми, кожен з яких по-своєму впливає на якість тістових напівфабрикатів.

Одним з основних показників при аналізі процесу замішування є інтенсивність. Вона визначається кількістю енергії, яка вводиться в одиницю об'єму маси, що перемішується, за одиницю часу.

В сучасних економічних умовах слід привертати увагу не тільки до якості тістових напівфабрикатів і готової продукції, а й до ефективного використання енергії, необхідної для їх виготовлення. Актуальним завданням для проектувальників є розробка методів, здатних істотно спростити процес визначення енергетичних показників роботи тістомісильного обладнання, зокрема, потужності, необхідної для замісу тіста. Вирішувати поставлені питання доцільно не тільки з використанням емпіричних методів і фізичного моделювання, а й можливостей сучасного програмного забезпечення.

Визначити витрати енергії в процесі замішування можливо двома методами: методом інтегральних характеристик (визначення загальної енергії, яка витрачається на заміс тіста) та визначенням потужності для піка розвитку тіста (метод пікових точок). Перший метод набув широкого застосування при технологічних розрахунках для визначення питомої роботи замісу. Однак для конструювання нових тістомісильних машин найчастіше використовують метод максимальної потужності (пікових точок).

Об'єктом дослідження є процес замісу пшеничного дріжджового тіста. Предметом досліджень – енергетичні витрати на заміс. Дослідження виконані методами математичного і фізичного моделювання. Замішувалося тісто, виготовлене за рецептурою батона звичайного.

Процес замісу тіста промодельовано у ліцензованому програмному пакеті для персональних комп'ютерів FlowVision. Враховано властивості тіста як псевдопластичної рідини. Для моделювання процесу замісу хлібного тіста обрана модель "Вільна поверхня".

Характеристики тістового напівфабрикату визначені за стандартними методиками, які використовуються в хлібопекарській галузі. Для визначення необхідної потужності електродвигуна в процесі замісу тіста при фізичному моделюванні на експериментальній установці використовувався самописний ватметр типу Н 379 з діапазоном вимірів до 0.1 кВт.

Метою досліджень є визначення максимальної потужності, що витрачається на заміс.

В попередніх роботах [1–3] обґрунтовано, що найбільш раціональним місильним органом є штифтовий (рис. 1). Така конструкція забезпечує рівномірність змішування компонентів на стадії первинного змішування та утворення циркуляційних вихорів на стадії пластифікації тіста.

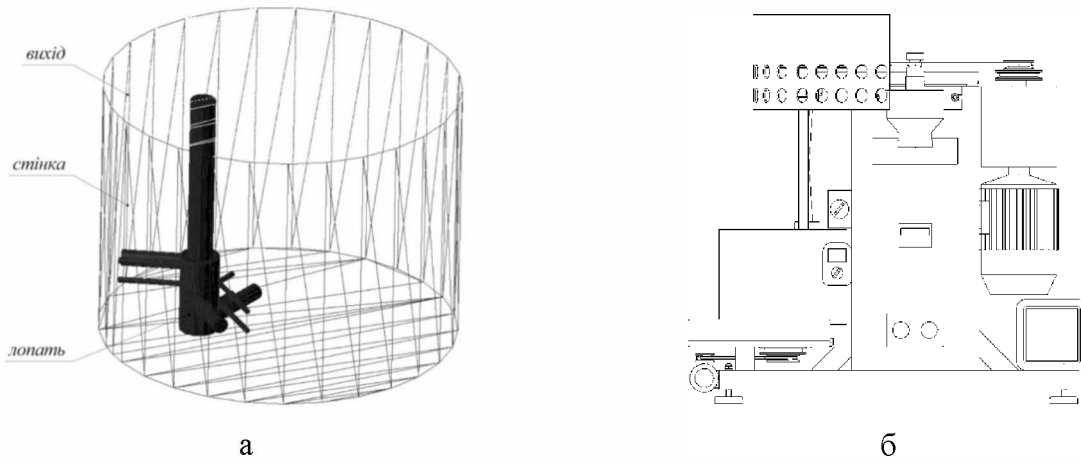


Рисунок 1 – Схема тістомісильної машини зі штифтовими робочими органами:
а – постановка задачі при математичному моделюванні, б – експериментальна установка
 Відомо, що на потужність замісу істотно впливає сила опору:

$$N = \omega \cdot M_{sp} = \omega \cdot F_{on} \cdot l,$$

де ω – кутова швидкість місильних органів, c^{-1} ;

F_{on} – сила опору, Н;

l – плече дії сили, м.

Силу опору F_{on} можна виразити через дві складові: силу опору, обумовлену внутрішнім тертям в масі F_e , і силу тиску F_m на робочий орган. Так як хлібне тісто відноситься до ньютонівських високов'язких рідин, то ключову роль при розрахунку потужності тістомісильних машин відіграє F_e .

Опір, який зазнає робочий орган при замісі, залежить від величини швидкості потоку v , густини продукту ρ , перерізу S , характерного для кожного тіла, і коефіцієнту опору ζ , який залежить від форми тіла. Силу опору циліндра (штифта) потоку, який набігає, визначають за формулою:

$$F_{on} = \frac{4\pi\eta v}{\ln(3,7/Re)},$$

де η – в'язкість продукту, Па·с;

v – швидкість потоку, м/с.

Однак більш доцільно визначати силу опору, використовуючи можливості сучасного прикладного програмного забезпечення. При визначенні числових значень сил опору F_{on} в програмному комплексі FlowVision застосовано метод інтегральних характеристик, для чого був створений новий об'єкт (супергрупа) в дереві побудов з граничної умови “Лопать”, який надалі експортований в постпроцесор. На отриманому об'єкті “От ЛопатьГруппы” створено шар характеристик, в якості змінної служить “Давление”.

Використовуючи запропоновану методику, можна обчислювати опір, який зазнає лопать будь-якої іншої, більш складної геометричної форми.

Отримані числові значення сили опору для різних частот обертання місильних органів використані для розрахунку максимальної потужності, яка споживається в процесі замісу тіста.

Фізичне моделювання виконувалося на експериментальній установці (див. рис.1б). Час завершення процесу t_k визначено за умови:

$$t_k = t_2 - 5\%,$$

де t_2 – кінцевий час процесу, при досягненні якого структура тіста починає руйнуватися, що призводить до зниження енергозатрат.

При сталій конструкції елементів тістомісильного обладнання, потужність, яка витрачається на заміс, визначається режимом роботи місильного органу (його частотою обертання n) і консистенцією тіста, яка насамперед залежить від його вологості. Збільшення вологості тіста призводить до зниження енергетичних затрат в процесі замісу. Тому доцільно

проводити дослідження при найменшій з можливих вологості тіста $w=40\%$, що дасть змогу визначити максимальну необхідну потужність замісу. Частота обертання, як і при математичному моделюванні, змінювалася в межах 200-400 об/хв. З інтервалом 50 об/хв.

Аналізуючи отримані результати як фізичного, так і математичного моделювання (рис.2), можна стверджувати, що зі збільшенням частоти обертання місильного органу значення максимальної потужності, яка витрачається в процесі замісу, експоненційно збільшується:

$$N = 0,017e^{0,0035n}$$

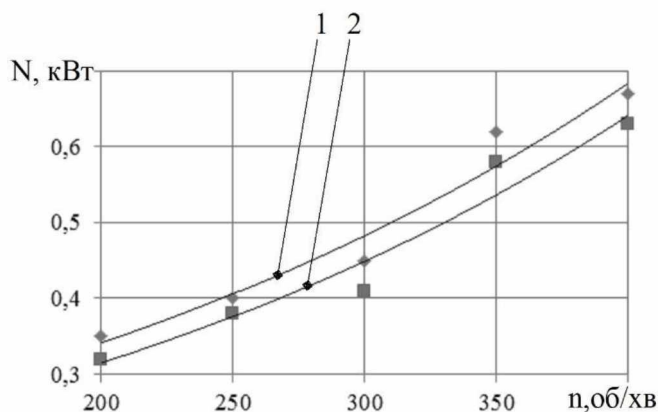


Рисунок 2 – Залежність максимальної потужності замісу від частоти обертання місильного органу: 1 – фізичний експеримент; 2 – моделювання

Зростання споживаної потужності при зміні частоти обертання пояснюється збільшенням сили опору місильного органу внаслідок зростання швидкості потоку, що набігає.

Відносна похибка результатів математичного та фізичного моделювання становить 6,7 %, що свідчить про адекватність отриманих результатів.

Висновки. При проектуванні нового обладнання для замісу тістових напівфабрикатів для визначення потужності приводу слід використовувати метод пікового розвитку тіста.

В результаті моделювання в програмному комплексі FlowVision доцільно отримувати інтегральні характеристики сили опору F_{on} , значення яких надалі використовувати для розрахунку максимальної потужності, що споживається при замісі. Ця методика може використовуватися для лопатей будь-якої геометричної форми.

Споживання потужності під час замісу тістових напівфабрикатів при збільшенні частоти обертання робочих органів експоненційно зростає внаслідок підвищення сили опору. Отримані результати математичного і фізичного моделювання є адекватними, похибка не перевищує 6,7%.

Література

1. Патент 98577 UA, МПК А21С 1/02 (2006.01) Тістомісильна машина / Шпак М. С., Литовченко І. М.; заявник Національний університет харчових технологій. – № а201105303; заявл. 26.04.2011 ; опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10. – 8с.
2. Шпак М. С. Определение рациональных параметров замеса хлебного теста цилиндрическими рабочими органами / М. С. Шпак, И. Н. Литовченко // Тезисы докладов региональной научно-практической конференции “Молодежь и научно-технический прогресс”, апрель–июль 2011, Владивосток, Российская федерация, 2011, часть 1. – С. 344-346.
3. Шпак М. С. Разработка методики определения проектной мощности привода тестомесильных машин / М. С.Шпак, О.О. Чепелюк // Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии производства продуктов питания функционального назначения» г. Кутаиси, Грузия, 2015. – С. 508 – 511.