

УДК 664.643.1

DESIGN OF OPTIMAL ROLL PARAMETERS FOR ROLLING THE DOUGH

A. Derkach, T. Lisovska, I. Stadnyk

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

Key words:

*Three phase medium
Rollers
Rheology
Shear strain
Dough*

Article history:

Received 18.09.2017
Received in revised form
04.10.2017
Accepted 20.10.2017

Corresponding author:

A. Derkach

E-mail:

npnuht@ukr.net

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-11

ABSTRACT

The article defines rather complex and unpredictable movement of the dough in the gap between the working rolls and suggests the calculation of the optimal parameters for shaping rolls, particularly the parameters and their effect on the dough. The functional dependences of the permissible diameter and the gap between rotating rollers are substantiated. The block diagram of the geometric bounding parameters of the gradient field of the viscous fluid flow is proposed herewith and the equation on the basic constructive parameters (h , r) affecting the pouring process efficiency is rolled.

ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВАЛКІВ ДЛЯ РОЗКАЧУВАННЯ ТІСТА

A.B. Деркач, Т.О. Лісовська, І.Я. Стадник

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

У статті проведено аналіз дії валків на середовище, розглянуто досить складний і непередбачуваний рух тіста в зазорі між валками та описано методику розрахунків оптимальних параметрів формуючих робочих валків, зокрема визначення впливу конструктивних параметрів на розхід тіста. Обґрунтовано функціональні залежності допустимого діаметра та зазору, утвореного між обертовими валками. Запропоновано блок-схему моделювання геометричних обмежуючих параметрів градієнтного поля течії в'язкої рідини та проведено розв'язування рівняння за основними конструктивними параметрами (h , r), що впливають на ефективність процесу розкачування.

Ключові слова: *трифазове середовище, валки, реологія, деформація зсуву, тісто.*

Постановка проблеми. Одним із основних напрямків раціонального технічного забезпечення процесу формування виробів у різних галузях промисловості є машини з валковими робочими органами. На сьогодні конструкцій валкових робочих органів, які виконують технологічну операцію з нагнітання, транспортування в'язкого середовища, не так багато. Багато з цих машин потребує удосконалення та дослідження з метою впровадження нових розробок у їх виробництво. Особлива увага приділяється малогабаритним ефективним машинам із контрольованими процесами, що відбуваються в робочій камері. При створенні малогабаритних машин особливу увагу необхідно зосередити на обґрунтуванні технологічної схеми та відповідному конструктивному розв'язанні прийнятих рішень, оскільки це суттєво впливає на можливість виготовлення такої машини в умовах підприємств, технологічні можливості яких орієнтовані на ремонт і відновлення техніки [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Машини, які формують в'язке середовище, повинні впливати на нього таким чином, щоб втрати сировини і готової продукції були мінімальними, а якість виробів висока. Це спонукає до необхідності забезпечення повної відповідності режимів обробки, конструктивних форм і параметрів робочих валкових органів структурно-механічним властивостям в'язкого середовища [1; 2]. Поставлена проблема визначила сучасні тенденції конструювання валкових робочих органів у машин різного класу, де вони виконують робочі процеси: розкачування, нагнітання, замішування, транспортування. Винахідники постійно спрямовують свої розрахунки, конструкції на оптимізацію профілю і конструктивних елементів, застосування збірних конструкцій, використання матеріалів і покриттів.

Відставання наукових розробок від потреб практики пояснюється надзвичайно широким діапазоном властивостей технологічних середовищ, різноманіттям використовуваних матеріалів для їх транспортування і відмінністю умов їх експлуатації. Крім того, дослідження розкачування в'язкого середовища валками пов'язане з певною складністю через необхідність залучення до розв'язання проблем сучасних знань і методів з різних галузей науки: фізико-хімічної механіки матеріалів, фізики твердих тіл, металознавства тощо.

Традиційні способи розкачування в'язкого середовища валками в основному базуються на комбінації двох методів деформаційного навантаження — стисненні нагнітаючого середовища в квазістатичному і динамічному режимах, причому деформується весь об'єм трифазового середовища [1—3]. Відомо, що вузол подачі тіста формувальної машини складається з бункера 1 для завантаження тіста, нагнітальної камери 2, виконаної з двох рифлених валків 3, встановлених паралельно з можливістю проходження тіста між ними. Нова форма поверхні валків виконана у вигляді циліндрично-гвинтових із постійним по довжині кроком гвинтових ліній. Тому будь-яку зі структурних схем, існуючих та розроблених (рис. 1) за участі валкових робочих органів, можна математично описати за наявності рівнянь, що зв'язуються у часі безперервними функціями. До них відносяться геометричні розміри обладнання та характеристики робочих валків, а також властивості і фізико-механічний стан в'язкого середовища.

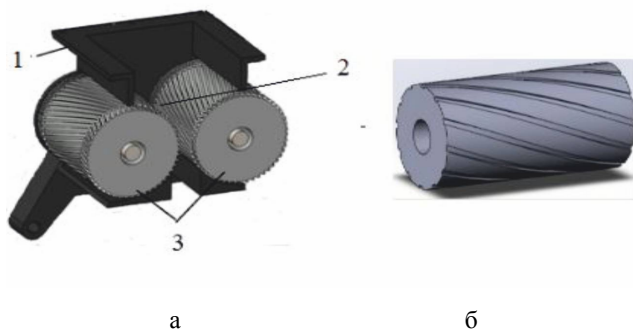


Рис. 1. Схеми: а — вузла нагнітання: 1 — бункер; 2 — нагнітальна камера; 3 — рифлені валки; б — новий валок

Метою статті є розробка методів визначення впливу конструктивних параметрів валків при горизонтальному розкачуванні.

Викладення основних результатів дослідження. Визначення руху середовища в зазорі між валками є досить складною і в той же час практично важливою проблемою, що пов'язана з необхідністю проведення розрахунків формуючих робочих валків, в даному випадку визначення їх дії на середовище. Для вирішення такого класу задач необхідно залучити алгебру логіки і теорію множини, властивості середовища, що дають змогу розглядати компоновання як упорядковану множину робочих ланок, а різноманітні їх сполучення — як логічні відношення елементів цієї множини [5]. У загальному випадку ці задачі є багатоекстремальними і тому потребують глобального екстремуму. При виборі кращого варіанта визначення впливу конструктивних параметрів валків вибрано метод розставлення пріоритету — якісної оцінки варіантів. Вирішення поставлених завдань можливе на основі ретельного вивчення суті процесу, що відбувається під час розкачування. Вивчення праць [1; 2; 4] показало, що нерівномірність швидкості руху середовища (бубличного, дріжджового, пшеничного тіста) обумовлена характером течії. Тому суттєвим фактором збільшення ефективності інтенсивної дії валків на середовище є рівномірність розкачування його елементарних об'ємів, що надходять із робочої камери машини. Виходячи із допущень, що питома подача середовища є однаковою для всіх елементарних об'ємів маси, що знаходяться в зазорі між валками, в'язкість залишається постійною, тому при розрахунках її не враховували.

Розглянемо процес розкачування (рис. 2). Валки однакових діаметрів обертаються назустріч один одному при стаціонарному ізотермічному русі середовища (пшеничного тіста).

Інерційними властивостями ми нехтуємо. Розхід середовища є нечітким (розмитим). В основі його величини із центром ваги G . Така функція має вигляд:

$$J(Par, A, B) = e^{A \cdot (B - Par)^2} \quad (1)$$

Її представлення шукатимемо у вигляді експоненціальної симетрії відносно точки аргументу (параметрів робочого процесу Par). Тобто $J(Par) = G$. Неві-

домі коефіцієнти в рівнянні (1) A та B будуть визначені для кожного випадку функції приналежності J методом найменших квадратів. Розв'язування рівняння проводимо за основними конструктивними параметрами (h , r), що впливають на ефективність процесу розкачування.

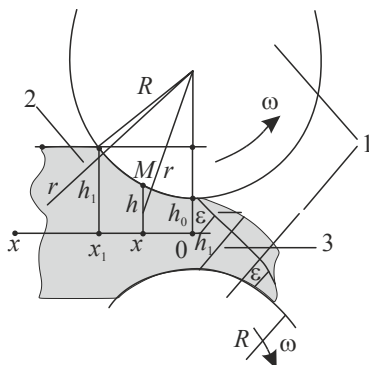


Рис. 2. Профіль схеми розкатки тіста між валками: 1 — обертові валки радіуса R , половинна відстань між якими h_0 ; 2 — потік тіста половинної товщини h на вході робочої камери; 3 — розкатане тісто після проходження валків

1. Теоретичні результати розрахунку для випадку дії зазору між валками.

Проводимо дослідження параметрів функції приналежності $J_\mu(h)$ теоретичної швидкості втрат розходу $G(h)$ в'язкого середовища на валках відносно зазору h між ними у мм. Формуємо розподіл нечіткої величини розходу J_μ за параметром зазору h на інтервалі 1...5.5 мм за приналежністю даного фактора 0,62, близького до центра зазору. У даному випадку найвищий рівень досягає 0,92 у центрі рухомого середовища при $h = 3,6$ мм, що визначалося серією замірів.

Заміри проводили після кожного циклу нагнітання маси тіста на формувальні пристрої. Відбирали сформовані заготовки і зважували їх. Відповідно, отримали картину руху маси тіста в зазорі між валками при однакових діаметрах і частоті обертання. Два центральні сформовані кусочки тіста мали майже однакову вагу, а заготовки, сформовані боковими пристроями, мали деякі відхилення, тому по краях рівень найменший — 0,1. Тоді

$$J_\mu = \left(\begin{array}{cccccccc} 1 & \dots & 2,5 & \dots & 3 & \dots & 3,6 & \dots & 4,5 & \dots & 5 & \dots & 5,5 \\ 0,1 & \dots & 0,26 & \dots & 0,48 & \dots & 0,92 & \dots & 0,4 & \dots & 0,22 & \dots & 0,1 \end{array} \right). \quad (2)$$

Для практичного використання виразу (1) необхідно обчислити конкретні значення параметрів A та B . Застосуємо оператор найменших помилок програми MathCAD-14. Надаємо найбільш близькі до експертних початкових значень для використання блоку Given — Minerr:

$$n := \text{cols}(J_\mu) \quad n := 7 \quad B := 3,6 \quad A := -0,01$$

$$\text{Given } \sum_{i=0}^{n-1} \left(J_{\mu,i} - G(J_{\mu_0,i}, A, B) \right)^2 = 0$$

$$\begin{pmatrix} A_h \\ B_h \end{pmatrix} = \text{Minerr}(A, B) \quad \begin{pmatrix} A_h \\ B_h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0,954 \\ 3,718 \end{pmatrix}.$$

Таким чином, теоретична залежність швидкості розходу в'язких мас згідно з (1) має такий вигляд:

$$G(h) = e^{-0,95 \cdot (3,72 - h)^2}. \quad (3)$$

На основі проведених розрахунків побудуємо графік функції $G(h)$ згідно з (2) (рис. 3).

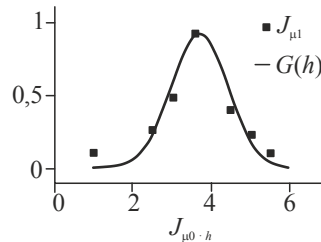


Рис. 3. Функція приналежності $G(h)$ втрат розходу J_{μ} в'язкого середовища по площині валків (h, x)

На рис. 4 точками представлено графік обчислених теоретичних величин, а квадратами — дослідні дані з валкової машини. Із графічної залежності випливає, що зазор дійсно впливає на якість процесу. Свої найсприятливіші значення функція розходу для міжвалкового зазору h має в межах 3...4,2 мм. Ці значення визначають ефективність процесу розкачування. Теоретичні розрахунки показали, що їх величини є досягненням точності взаємозв'язку розходу із зазором. Порівняння з дослідними даними достатньо збігаються з розподілом середовища в зазорі по довжині валків.

Функцію приналежності розходу $GG(h)$ у площині валків шукаємо як нормовану величину. Проводимо перевірку нормування по стандарту $G = 9,7$ (дослідні дані) і підбираємо C у формулі функції приналежності, вибираючи інтервал зміни аргументу h : $h_0 = 1 \dots h_m = 7$:

$$S = \int_{h_0}^{h_m} GG(h) dh$$

$$S = 9,664.$$

З розрахунків випливає, що підбір наших констант задовольняється початковими умовами, накладеними на розхід $G = S$ із відповідним технології ступенем точності:

$$GG(h) = \begin{cases} C \cdot (1 - G(h)) & \text{if } 0 \leq h \leq 7 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (4)$$

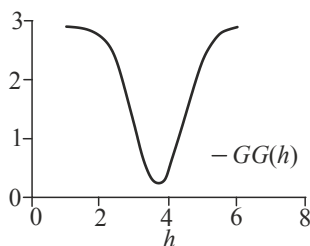


Рис. 4. Функція приналежності $GG(h)$ розходу в'язкого середовища

2. Теоретичні результати розрахунку для випадку дії параметрів радіус-вектора точки в'язкого середовища відносно осі валків.

Проведемо оцінювання параметрів функції приналежності швидкості нечіткої величини розходу в'язкого середовища між валками відносно модуля радіус-вектора, що сполучає вісь валка і точки в'язкого середовища (рис. 3). Спостереження точки на струмені розходу у площині валка фіксуємо в мм. Принцип обчислень аналогічний пункту 1.

$$F_{\mu} = \begin{pmatrix} 155 & 158 & 161 & 164 & 167 & 170 & 175 \\ 0,14 & 0,36 & 0,6 & 1 & 0,66 & 0,32 & 0,11 \end{pmatrix}$$

$$n = \text{cols}(F_{\mu}) \quad n = 7 \quad B = 164 \quad A = -0,01$$

Функцію приналежності розходу $GG(r)$ у площині валків шукаємо як нормовану величину. Проводимо перевірку нормування по стандарту $G = 9,7$ і підбираємо CC у формулі функції приналежності, вибираючи інтервал зміни аргументу r : $r_0 = 155 \dots r_m = 175$. Отримуємо формулу залежності розходу середовища від параметра r :

$$GG(r) = 0,99 \cdot e^{-0,032 \cdot (163,862 - r)} \quad (5)$$

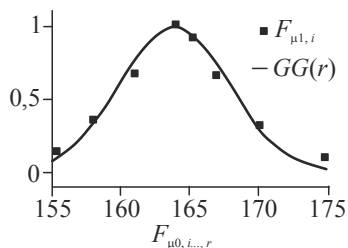


Рис. 5. Графіки залежності розходу середовища від радіус-вектора точки середовища відносно осі валка

Графік залежності (5), приведений на рис. 5, свідчить про найвищу ступінь приналежності в межах 162...168 мм.

3. Забезпечення умов спільного виконання умов впливу параметрів зазору h та радіус-вектора r .

Операція визначення функції приналежності спільного впливу двох факторів виконується шляхом логічного добутку приналежностей через мінімізацію двох визначених функцій по двовимірній області двох факторів r та h :

$$GG(h, r) = \min(GG(h), GG(r)).$$

Для забезпечення точності розрахунків вирішуємо проблему грубозернистості аргумента шляхом вибору числа N кількості точок поділу діапазону зміни r та h . Графіки нечіткої функції розходу середовища по області зміни двох аргументів на площині (r, h) приведені на рис. 6а — тривимірний та 6б — лінії рівня. Нижня та верхня грані графіка відповідають, відповідно, поверхневому та міжповерхневому руху середовища між валками.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що біля поверхонь валків відбувається найбільший рух середовища, який змінюється по параметру зазору h в бік зменшення центральної міжвалкової осі. Цей особливий рух середовища можна розділити на дві стадії. Перша — це адгезійний контакт середовища із поверхнею валків з одержання валкової обертової швидкості. Вона змінюється з віддалю від валкової поверхні. На цій стадії рух визначальним фактором є діаметри валків. Друга стадія руху — міжвалковий змінний рух кількості середовища. На цій стадії утворюється своєрідний рух, де наявна досить велика впадина, і рух має частково протилежний характер (рис. 6). Визначальним параметром є зазор.

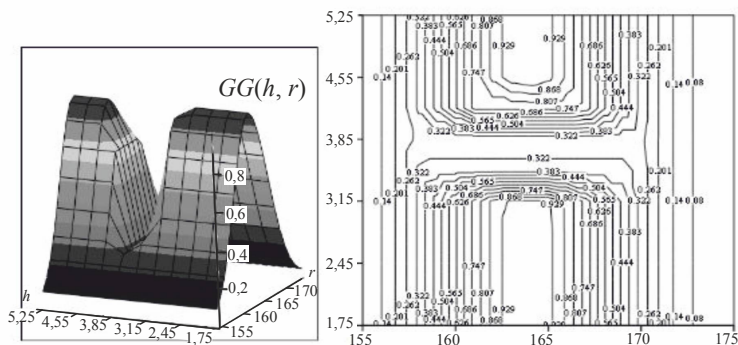


Рис. 6. Графіки нечіткої функції розходу середовищ: а — тривимірний; б — лінії рівня

Висновки

На основі запропонованої методики визначення впливу конструктивних параметрів на розхід тіста обґрунтовано функціональні залежності допустимого діаметра та зазору. Так, для забезпечення раціонального розходу тіста теоретично визначено межі конструктивних параметрів: діаметр валків 155...165 мм; зазор 1,5...3,4 мм.

Використання запропонованої методики визначення характеру руху середовища можна використовувати при проектуванні валкового нагнітача при подачі маси тіста (тістоподільні машини, формовочні машини), при дозуванні, замішуванні тощо.

Результати досліджень сприяють розвитку гідромеханіки нелінійних середовищ, теоретичних основ процесу інтенсивного руху. Рух симетрично знижується в процесі дії валків, але свої максимальні значення має біля їх поверхонь, що підтверджує активний адгезійний вплив.

Література

1. Стадник І.Я. Моделивання руху змішуваних компонентів у камері безлопатевої тістомісильної машини / І.Я. Стадник, М.М. Луців // *Хранение и переработка зерна*. — 2011. — № 2. — С. 58—60.
2. Мачихин Ю.А. Формование пищевых масс [Текст] / Ю.А. Мачихин, Г.К. Берман, Ю.В. Клаповский. — Москва : Колос, 1992. — 272 с.
3. Мачихин Ю.А. Инженерная реология пищевых материалов [Текст] / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. — Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 216 с.
4. Николаев Б.А. Структурно-механические свойства мучного теста [Текст] / Б.А. Николаев. — Москва : Пищевая промышленность, 1976. — 247 с.
5. Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов. — Москва : Наука, 1976. — 300 с.