

ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛООБМІНУ В ТІСТІ ПРИ ФОРМУВАННІ БУБЛИКІВ

Стадник І. Я., д.т.н.,

ORCID: 0000-0003-4126-3256

Пилипець О. М., к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-0957-8282

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Піддубний В. А., д.т.н.

ORCID: 0000-0001-8051-3743

Київський національний торговельно–економічний університет

Веселовська Т. Є., к.т.н.

ORCID: 0000-0003-3300-7172

Кам'янець–Подільський національний університет імені Івана Огієнка

Тел. (097) 545-48-29

Постановка проблеми Серед теплових процесів, що застосовуються у виробництві, основне місце займає процес передачі теплоти від її джерел до оброблюваного матеріалу. Обмін енергією між рухомими частинками відбувається внаслідок їх безпосередніх зіткнень. При цьому молекули більш нагрітої частини тіла, що мають більшу енергію, передають частку енергії сусіднім частинкам з меншою енергією. У газах перенесення енергії здійснюється за рахунок дифузії молекул і атомів, у рідинах і твердих діелектриках – пружними хвилями. У металах перенесення енергії здійснюється головним чином дифузиею вільних електронів.

Утворювані теплові циркуляційні потоки частіше носять хаотичний характер, що також призводить до порушень загальної теплової циркуляції в середовищі. При цьому рівні таких порушень можуть бути достатньо глибокими із змінами напрямків в його контурах. Таким чином, гідродинамічні режими в нагнітальному вузлі формувальної машини визначаються тепловим потоком, що утворюється в тісті при взаємодії його з поверхнями валкових робочих органів.

Оскільки всі явища (процеси) у природі описуються аналогічними кінетичними рівняннями, то вони мають і аналогічний характер перебігу в часі. Швидкість будь–якого процесу і, отже, швидкість перенесення субстанції після початку дії валкових робочих органів внаслідок інерційності систем змінюється поступово: спочатку зростає до певного максимального значення, деякий час утримується на цьому значенні, а потім, у міру наближення рівноважного стану, поступово уповільнюється до нуля (припинення процесу). Між середовищем і робочим органом постійно виникає додаткова вища температура. Існує різниця температурних

потенціалів $\Delta t = t_1 - t_2$, внаслідок якої теплота переходить від більш нагрітої точки до менш нагрітої. Різниця температурних потенціалів Δt розглядуваних точках є мірою відхилення їх стану від рівноваги між ними. Ця різниця спонукає теплоту переходити від нагрітої до менш (холоднішої) точки простору середовища, що знаходиться в просторі між валками. Таким чином, це характеризує різницю потенціалів поверхні валка і самого середовища (тіста).

Аналіз останніх досліджень. Визначення температурних потоків при проходженні процесу формування тіста валковими робочими органами відіграє важливу роль для розрахунків конструювання формувального, розкочувального, змішувального обладнання. Проте дослідження [1] процесу стискання тіста між валками тільки кінетики його нагнітання у відриві від самої зміни його структури не дозволяє визначити оптимальні параметри процесу. Зміну фізико-хімічних властивостей тіста при дії робочого органу розглянуто у роботі [2], але не показано методику визначення температури. В дослідженні авторів [3] послідовність і механізм впливу зміни температури на структуру при нагнітанні дріжджового тіста повністю не розглядається. В своїх реологічних дослідженнях автори [4, 5] розкривають значення температури на зміну структури середовища, але методика визначення температурного поля процесу відсутня. Більш наглядно проведено розкриття температурних впливів у роботі [6]. Ним поведено моделювання в'язкого середовища в зазорі між валками та відображено розподіл температури.

Без з'ясування утворення і визначення теплових потоків в дріжджовім тісті неможливо обґрунтувати оптимальні режими і методи управління цим процесом. Тому окрім раціональних механічних дій валків на середовище необхідно підтримувати оптимальну температуру, що має забезпечити приплив живильних речовин до кліток бактерій і необхідний волого- і газообмін.

Аналіз даних дає відповідь на ряд запитань про можливість терморегулювання процесу дії робочих органів на середовище. Тому нами запропоновано методики визначення температурних перепадів у валковому вузлі формувальної машини у порівнянні з новою конструкцією [6].

Наразі така оцінка здійснюється за значенням енергетичного коефіцієнту, запропонованим відомим вченим В.М. Кірпичовим. Цей коефіцієнт визначається як відношення кількості теплоти, переданої через поверхню теплопередачі, до величини роботи, витраченої на подолання гідравлічного опору при переміщенні середовища. На практиці використовують енергетичний коефіцієнт у формі:

$$E = \alpha / N_0,$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі на поверхні при заданих умовах взаємодії, Вт/(м²К);

N_0 – енергія, витрачена за 1с на переміщення середовища, віднесена до 1 м² поверхні, Вт/м², відповідна енергія визначається виразом:

$$N = \frac{G\Delta p}{\rho F_b},$$

де G – масова витрата середовища, кг/с;

Δp – гідравлічний опір каналу, Па;

ρ – густина середовища, кг/м³;

F_b – робоча площа каналу, м².

Примусовий конвективний теплообмін дозволяє вирівнювати температурне поле в середовищі (неньютонівська рідина) створювати однакові умови у будь-якій зоні робочої камери. Це дає можливість стверджувати, що температура в будь-якій точці через певний проміжок часу зближується, досягаючи середню температуру середовища на початку і кінці процесу нагнітання. Однак нами встановлено [2, 6], що при нагнітанні середовища є суттєва різниця – температура всередині середовища наближається не до температури утвореної на поверхні валкового робочого органу, а до температури близької до початкової 24°.

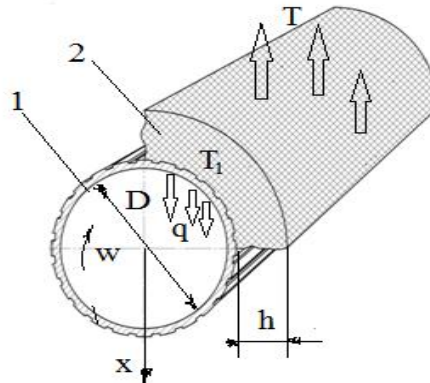
Отже, процес нагнітання через деякий час набуває характеру, який практично можна вважати регулярним режимом теплопровідності. Граничною температурою, до якої прямує температура в середовищі, є температура при заданому тиску нагнітання, що утворюється дією обертових валкових робочих органів. Вона впливає на характер зміни температури і тривалість на стадії нагнітального дискретного режиму. Також для температурного поля в середині середовища має вплив температура оточуючого навколишнього середовища.

Насправді ж ці явища відбуваються одночасно і, звичайно, впливають одне на друге. Конвекція, наприклад, часто супроводжується тепловим випромінюванням, а теплове випромінювання – теплопровідністю і конвекцією.

При проходженні дискретної деформації на середовище валками, виділення тепла на границі розділу відбувається приблизно рівномірно. Цикл розповсюдження досить короткий, і втрати тепла на випромінювання й конвекцію незначні. Тому можна припустити, що бічні поверхні валка перебувають в адіабатичному граничному стані, і що розподіл температури по площині, паралельній поверхні тертя, є рівномірним. Таким чином, температура в цій площині, апроксимується одним значенням у точці перетинання при одномірному аналізі методом кінцевих різниць.

Самі валки разом із тістом є багатошаровою циліндричною

стілкою, що являє собою тільки $\frac{1}{4}$ взаємного контакту (рис.1). У цьому випадку термічний опір багат шарової циліндричної стінки дорівнює сумі опорів окремих шарів. Перший шар є стінка валка, а наступний шар – середовище, що обробляється. Саме середовище умовно можна поділити на декілька шарів.



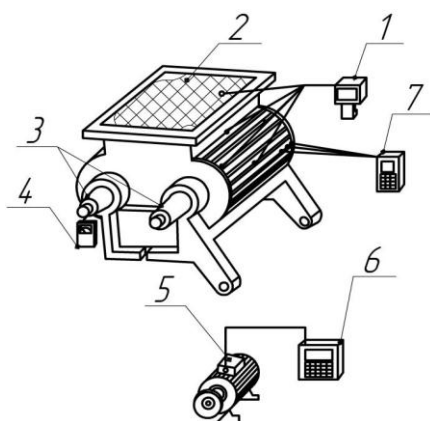
1 – валковий робочий орган, мм; 2 – середовище (тісто);
 T – постійна температура; T_1 – температура на поверхні фрикційного контакту.

Рис. 1. Схема імпульсного фрикційного контакту.

Матеріали. Тісто, вологістю 33%, для бубликів із пшеничного борошна вищого сорту на пресованих дріжджах, готувалося безопарним способом з тривалістю бродіння 60 хвилин при температурі 32 – 33 °С. Якість пресованих дріжджів відповідає ДСТУ. Характеристики борошна пшеничного:

- масова частка води, % – 14,5;
- вміст сирої клейковини, % – 28;
- опір клейковини стисненню на приладі ІДК-1, од. прил. – 54;
- розтяжність клейковини, см – 14.

Методи. Дослідження процесу нагнітання і розкатування тіста виконувалось на формувальній машині Б-54 кондитерської фабрики (Тернопіль) та фізичних моделях, створених на кафедрі обладнання харчових технологій (ТНТУ ім. Івана Пулюя). Для визначення виділення тепла на поверхні тертя (границі розділу валок – тісто) виконано побудову зворотної моделі теплопровідності. Розрахунковим шляхом визначено температуру нагріву тіста у зоні контакту з валками та на основі отриманих даних визначено осьове зусилля потоку. Оскільки градієнт температур у твердому тілі визначається за експериментальними вимірами, то тепловий потік можна розрахувати як добуток коефіцієнта теплопровідності твердого тіла на градієнт температур на поверхні. У зворотному завданні теплопровідності використано метод кінцевих різниць для оцінки теплового потоку $q(t)$ на границі розділу при терті, за умови, що відомі значення перехідної температури на поверхні валка.



1 – тепловізор; 2 – середовище (тісто); 3 – валкові робочі органи; 4 – тахометр; 5 – електродвигун; 6 – ватметр; 7 – потенціометр.

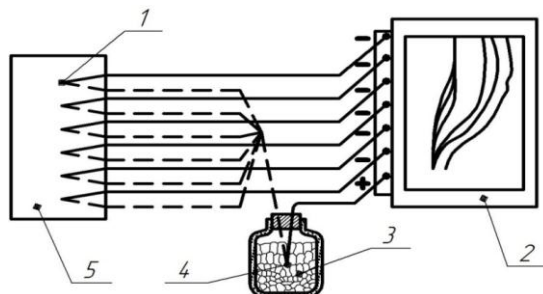
Рис. 2. Схема вузла нагнітання для визначення температурних потоків та потужності.

В роботі використано методику комплексного визначення ефективних теплофізичних характеристик тіста та експериментально встановити залежність теплопровідності λ , об'ємної теплоємності c_v , температуропровідності a від температури.

Експериментальні дані по визначенню температури нагрівання валкового робочого органу та тіста в процесі нагнітання одержували за допомогою термопар, які розташовані в зоні взаємодії (рис. 2). Використано гарячий мідно–константановий спай термопари із відповідною градуйованою таблицею.

При комплексних температурних вимірюваннях одночасно в декількох координатах об'єкту використано батарею диференціальних мікротермопарів, в яких кількість одиночних спаїв становить шість. Холодний спай батареї є загальним (рис. 3). Гарячі спаїв в батареях рівні кількості точок вимірювального приладу.

Зміну температури фіксували три термопари, що закріплені на поверхні валка відповідно на відстані 5; 15 і 25 мм від торця валка. Дані використано для розрахунку теплового потоку на поверхні в'язкого тертя.



1 – гарячий спай, 2 – багатоточковий електронний потенціометр, 3 – посудина Дьюара, 4 – загальний холодний спай, 5 – досліджуваний об'єкт.

Рис. 3. Схема пристрою для вимірювання температур за допомогою батареї мікротермопари.

Виникаюча термо-ЕДС термопар пропорційна різниці температур гарячого і холодного спаїв, що вимірюється приладами компенсаційного типу – потенціометрами або мілівольтметрами.

Отримані розрахункові значення критерію Кохерна G_p порівняно з табличним значенням при N і $F = K - 1$.

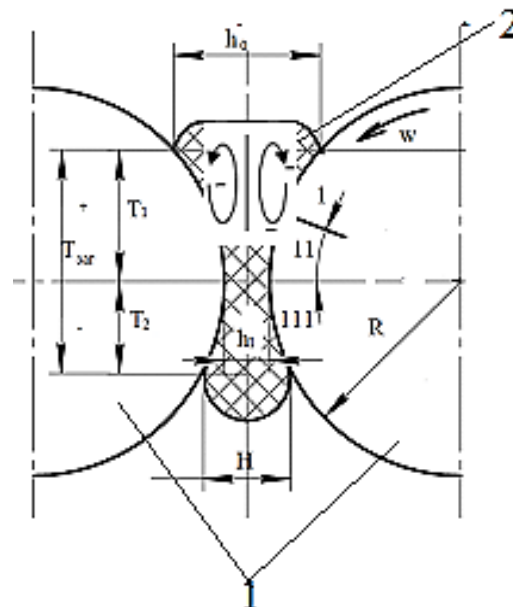
Виміри температури тіста в робочій камері, поверхні валків, навколишнього середовища проводилися із застосуванням тепловізійної зйомки за допомогою тепловізора *Fluke Ti 25*.

Формулювання цілей статті. Дослідити поширення теплоти в процесі нагнітання, що ґрунтується на особливостях теплообміну в фазовому середовищі.

Основна частина. Тісто між валками зона – 2, воно потрапляє в основну зону – 3 нагнітання, яку відповідно до рисунку 4 можна умовно поділити на три складові – зону інтенсивного тепловиділення – 111, перехідну – 11, та зону відведення тепла – 1. Для цієї частини у більшості конструкцій вузла нагнітання реалізується конвективний тепловий режим, який передбачає одночасну передачу теплоти випромінюванням і конвекцією.

Утворювані теплові циркуляційні потоки частіше носять хаотичний характер, що також призводить до порушень загальної теплової циркуляції в середовищі. При цьому рівні таких порушень можуть бути достатньо глибокими зі змінами напрямків в контурах тіста.

Таким чином, гідродинамічні режими в нагнітальному вузлі формувальної машини визначаються двома причинами. Перша стосується теплового потоку, що утворюється на поверхнях валка. Друга причина стосується утворення потоків за участю газової фази.



1 – обертові валки; 2 – робоче середовище тісто.

Рис. 4. Схема розподілу температури при нагнітванні.

Очевидно, що кожна з названих причин характеризується своїми рушійними факторами. Для першої причини таким фактором є різниця температур середовища і валкового робочого органу теплоносія–охолоджувача. У другому випадку рушійним фактором є присутність диспергованої газової фази. Значення температурних потоків залежить від швидкості руху середовища та дискретності дії валкового робочого органу, маси дріжджового пшеничного тіста у робочій камері і завантажувальному бункері, що призводить до часткового збродження цукрі в ньому.

Спосіб оптимального керування енергонавантаженистю при фрикційній взаємодії пар тертя тіста з валками при різних режимах нагнітання дозволяє встановити підведену теплоту до його робочих поверхонь. Керування тепловими процесами є необхідним з таких міркувань: обмежити кількість теплоти, акумульованої валками, з метою зменшення термічних напружень; знизити поверхневі температури в тісті нижче допустимих для нього з метою попередження змін структурно–механічних властивостей; забезпечити роботу вузла нагнітання з прийнятною енергонавантаженистю з метою підвищення зносо–фрикційних властивостей поверхневого шару валка; встановити взаємозв'язок між темпом зміни температури поверхневих шарів і градієнтом температури як по його поверхні, так і по товщини.

Отже, в досліджуваному середовищі вузла нагнітання первинне енергоджерело присутнє у формі хімічної енергії вуглеводнів, які мають трансформуватися у діоксид вуглецю. При цьому утворення діоксиду вуглецю має подвійний термодинамічний прояв, що супроводжується виділенням теплової енергії і утворенням диспергованої газової фази CO_2 . Газопроникливість тіста є критерієм оцінки кількості утримуючої газової фази.

Виділена тепла енергія у сполученні з тепловою енергією в'язкого тертя реалізується у формі, яку гіпотетично можливо вважати системою для перетворення теплової енергії у механічну роботу часткового перемішування (зворотного руху) середовища. У відповідності до ідеального циклу Карно ККД такої системи визначається відомою залежністю [3]:

$$\eta = \frac{T_3 - T_2}{T_3}, \quad (2)$$

де T_3 – відповідно абсолютна температура тіста і в'язкого тертя, $T_3 = T_T + T_{TP}$;

T_2 – температура тіста на виході з валкового зазору.

Якщо прийняти $T_3 = 300,3^{\circ} \text{K}$ і $T_2 = 297,4^{\circ} \text{K}$, то маємо

$$\eta = \frac{300,3 - 297,4}{300,3} \cdot 100 = 1,96\%.$$

Оцінка ККД у формі виразу скоріше за все може вважатися помітно наближеною. На режим циркуляції впливають конструктивні параметри, структура тіста (наявність газу) і гравітаційне поле. Однак за значних об'ємів середовища та дискретної дії на нього режим порушується і призводить до обмежених значень ККД.

Несталість значення Δt пов'язана з тим, що зі збільшенням значення h_0 (шару тіста в камері) температура в циркуляційній частині рідинної фази зменшується. Температура має свої найбільші значення при виході тіста із зазору валків. Коефіцієнт тепловіддачі α_1 від середовища до стінки валка залежить від фізико-хімічних параметрів середовища, швидкості руху валків, їх конструктивних параметрів; швидкості оновлення рідинної фази в поперечних площинах та площі контакту рідинної фази у валковому зазорі (стискання). Останнє має бути повноцінною реакцією системи на зміну утримуваної здатності по газовій фазі.

Отже, враховуючи складність теоретичного визначення величини конвективного теплового потоку \dot{Q}_k , при розрахунках використано поняття теплового потоку від стиснення тіста \dot{Q}_{cm} , що уже містить у собі величину питомої теплоти абсорбції конвективного теплового потоку. Визначення питомої теплоти абсорбції q_A базується на загальних закономірностях даного масообмінного процесу у вузлі нагнітання. Враховуючи всі термодинамічні процеси, які походять в середовищі під впливом деформації, нами запропоновано методики визначення теплових потоків:

– розрахунок теплового потоку абсорбції. Тепловий потік, що передається до, або від рідинної фази робочого середовища, можна розраховувати за рівнянням [3]:

$$Q_A = q_D \cdot m_A = \frac{q_D \cdot m_{x1} \cdot (\bar{x}_k - x_n)}{\mu_x}, \quad (3)$$

де q_D – диференціальна теплота розчинення газу (компонента газу);

m_A – масова витрата абсорбованого газу (компонента газу);

\bar{x}_k , x_n – кінцева і початкова відносні молярні частки поглинутого газу в рідинній фазі робочого середовища;

μ_x – молярна маса рідини.

Так як існують технологічні вимоги до пористої структури бублика, тому повинно відбуватися устанавлення у тісті рівноважної концентрації щодо газової фази. Відповідно це описується законом

Генрі [4, 5]

$$x_i = \frac{I}{E} \cdot p_i, \quad (4)$$

де x_i – молярна концентрація поглинутого газу в тісті, що знаходиться у термодинамічній рівновазі з газовою фазою;

p_i – парціальний тиск поглинутого компонента;

E – константа Генрі, що визначається із залежності:

$$\ln E = -\frac{q_d}{R \cdot T} + const. \quad (5)$$

Для граничних умов, наприклад, за атмосферного тиску маємо:

$$\ln \left(\frac{E}{E_{атм}} \right) = \frac{q_d}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T} \right). \quad (6)$$

Кінцева концентрація поглинутого газу у тісті \bar{x}_k при розрахунку може бути такою, що дорівнює концентрації за умови рівноваги. Тоді, на підставі вище сказаного, тепловий потік, що передається до, або від тіста в процесі нагнітання, буде:

$$Q_A = \frac{m_x \cdot p \cdot R}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}}.$$

Саме тому в загальній теорії розрахунку вузла нагнітання необхідно враховувати процеси абсорбції у робочій камері, які теоретично на цей час зовсім не описані. Можливо, цьому заважає значна складність процесів.

У цій методиці розрахунку витрати абсорбованого газу, як робоча температура, можуть бути взяті середньою температурою газорідинної фази $t = 0,5 \cdot (t_x + t_y)$ та тиском $p = 0,5 \cdot (p_{y1} + p_{y2})$.

Загальний теплообмін поверхні валкового робочого органу із навколишнім середовищем, зважаючи на незначність різниці температур $T_x - T_{н.с}$, питомий тепловий потік $\tilde{q}_{н.с}$ може розглядатися у вигляді:

$$\tilde{q}_{н.с} = \frac{c \cdot (T_{cm} - T_{н.с})^n \cdot F_{cm}}{m_{y1}}, \quad (7)$$

де T_{cm} – температура зовнішньої стінки валка, що не взаємодіє із середовищем;

F_{cm} – розрахункова поверхня валкового робочого органу;

c, n – емпіричні коефіцієнти, обираються згідно з табл. 1 для

різних типів поверхонь.

Таблиця 1 – Емпіричні коефіцієнти для визначення втрат тепла у навколишнє середовище

Тип поверхні	\bar{c}	\bar{n}
Вертикальна	1,4	1,33
Горизонтальна верхня	1,7	1,33
Горизонтальна нижня	0,64	1,25

Запропоновані шляхи визначення теплових потоків досить складні і обмежені необхідною інформацією, так як дріжджове тісто постійно з плином часу змінює свої структурно–механічні властивості при його деформації. Є і інші розрахункові шляхи визначення теплових потоків, які ґрунтуються на процесах теплообміну (конвективного, теплопровідності, променистого, теплопередачі), які будуть розглянуті в подальших роботах. Враховуючи всю складність, нами подано узагальнену методику визначення.

– Розрахунок температури тіста. Для отримання рівняння, що описує поширення теплового потоку утвореного в результаті існуючої температури тіста відповідно до рецептури і додаткової температури в'язкого тертя з зовнішнім тертям при фрикційному контакті до поверхні валка, необхідно знайти кількість теплоти, яка проходить через цей шар. Визначення зміни температурних потоків в шару тіста дає можливість розрахувати кількість виділеної теплоти за один цикл обертання валків (нагнітання).

Теплова оцінка процесу течії у валковім зазорі особливо важлива для виробництва бубликової продукції. Розподіл температури по товщині циліндричної стінки (валок і середовище на його поверхні) логарифмічно залежить від координати r . На основі закону Фур'є щільність теплового потоку q визначається із рівняння:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dr} = -\frac{\lambda(T_1 - T_2)}{r \ln(r_2 / r_1)} = \frac{\lambda(T_2 - T_1)}{r \ln(r_2 / r_1)},$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки валка, Вт/мК.

У нашому випадку кількість теплоти, яка поступає із тістом і проходить через циліндричну стінку, віднесена до одиниці довжини циліндра, може бути визначена за формулою:

$$Q = qA = q2r\pi = \frac{2\pi\lambda(T_1 - T_2)}{r \ln(r_2 / r_1)},$$

де $A = 2\pi rl$, при цьому Q залежить від r , оскільки теплота

акумулюється в середовищі, що обробляється.

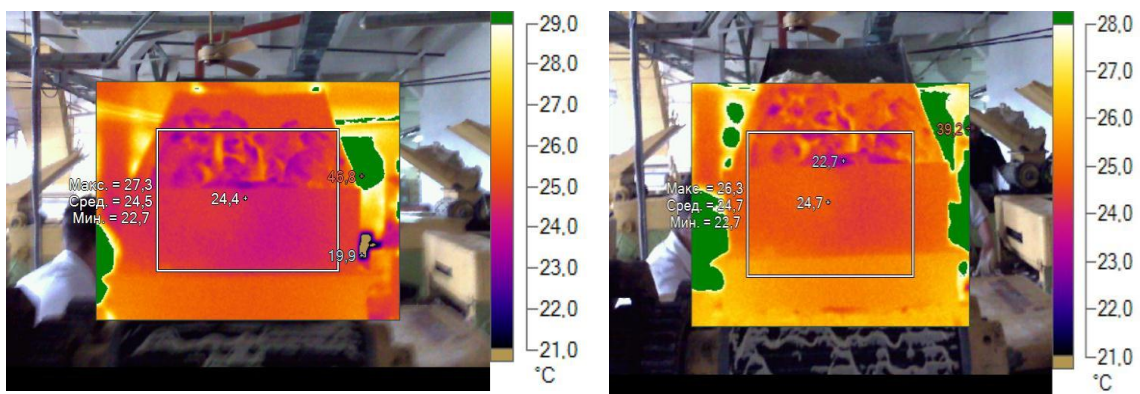
Розглянемо одновимірний процес теплопровідності на циліндричній стінці валка з радіусом r_1 і зовнішнім радіусом шару тіста r_2 ; коефіцієнт теплопровідності тіста є постійна величина. На поверхні стінки вище згаданим дослідним шляхом визначено температуру.

Умови вирішення задачі повинні містити рівняння теплопровідності у наступному вигляді:

$$\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dT}{dr} = 0.$$

– Визначення температури валка і тіста приладами. При визначенні коефіцієнтів, що входять до рівняння, необхідно враховувати той факт, що на ділянці стиснення величина температурного напору за кутом повороту весь час змінюється, а величина коефіцієнта тепловіддачі α може бути визначена досить приблизно, оскільки при її визначенні необхідно враховувати наявність ділянки, що впливає на теплообмін. Також потрібно знати швидкість руху робочого середовища у зоні обертових валків. Ці величини можна визначити експериментально, але дослідження з цього приводу поки що не виконувалися.

З метою якісної оцінки зміни температури в тісті та теплових втрат у навколишнє середовище, які, як відомо, залежать від величини його деформації та біологічних процесів, було виконано тепловізійну зйомку дослідної установки в цілому, результати якої наведені на рис. 5. Тепловізійна зйомка виконувалася для цілого ряду старих та нових валкових робочих органів при заданих технологічних режимах роботи формувальної машини.



а)

б)

а) – нова конструкції валків; б) – існуючої конструкції валків.

Рис. 5. Тепловізійна зйомка вузла нагнітання.

Аналізуючи наведені результати вимірювань та обчислень

можна зробити такі загальні обґрунтування дії обертових валків на середовище:

– температура робочого середовища у радіальному напрямі збільшується при наближенні до робочого валка з перепадом у $(4 - 7)^\circ\text{C}$ при швидкостях $u = (0,4 - 1) \text{ м/с}$ та відносному радіусу середовища на валку і самого валка $r_2/r_1 = 1,2$; величина цього перепаду залежить від величини ступеня підвищення стискування;

– температура робочого середовища на ділянці стиснення і нагнітання практично змінюється за кутом повороту валка, що свідчить про інтенсивне її транспортування і часткове перемішування;

– температура поверхні корпусу валка $t_{\text{пов.}}$ розподілена за кутом його повороту рівномірно, при збільшенні тиску нагнітання зростає лінійно та повторює зростання температури на виході з різницею близько 7°C ;

– температура робочого середовища та поверхні валка в осьовому напрямку розподілена рівномірно у нових конструкціях. При визначенні температури в осьовому напрямку не було виявлено жодної її зміни.

Висновок. Із наведених загальних обґрунтованих видів впливу обертового валкового робочого органу на тісто можна зробити висновок:

– інтенсифікувати процес нагнітання можливо шляхом забезпечення сталості температур;

– збільшення поверхні теплообміну;

– доцільним є виготовлення валка з матеріалу, що має максимальну теплопровідність;

– інтенсифікація процесу теплопровідності через стінку валка і тепловіддачі від стінки валка до внутрішньої пустотілої циліндричної поверхні;

– збільшення теплових втрат у навколишнє середовище (віддача тепла валком поверхнею, що не контактує з тістом).

Список використаних джерел

1. Стадник І. Я. Науково–технічні основи процесів та розробка обладнання для безлопатевого замішування тіста: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.18.12 / НУХТ. Київ, 2014. 40 с.

2. Енергетичні трансформації і енергозбереження в харчових технологіях: монографія / А. І. Соколенко та ін. Київ: Фенікс, 2012. 484 с.

3. Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача: учебник. Москва: Высшая школа, 1980. 469 с.

4. Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Піддубний В. А. Інтенсифікація масообмінних процесів в харчових технологіях: монографія. Київ: Люксар, 2008. 443 с.

5. Стадник І. Я., Лісовенко О. Т. Процеси та машини для замішування тіста. Тернопіль: ТНТУ, 2011. 212 с.

6. Methodology of determination of temperature flows in the zone of action of valveworking swath / A. Derkach, I. Stadnyk, V. Sukhenko, V. Vasylyv. *Journal of Prodindastrі APK*. 2017. № 3. P. 19–23.

7. Bloksma A., Niemann W. The effects of temperature on some rheological properties of wheat flour doughs. *Journal of Texture studies*, 1975. Vol. 6, № 3. P. 343–361. DOI: 10.1111/J.1745-4603.1975.TB01130.X.

8. Simulation of components mixing in order to determine rational parameters of working bodies / I. Stadnyk, T. Vitenko, P. Drozdziel, A. Derkach. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2016. Vol. 10, № 31. P. 130-138. DOI: 10.12913/22998624/64068.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛООБМІНУ В ТІСТІ ПРИ ФОРМУВАННІ БУБЛИКІВ

Стадник І. Я., Пилипець О. М., Піддубний В. А., Веселовська Т. Є.

Анотація

Проведено аналітичний аналіз дії валків на середовище та його поведінка при деформаційних впливах, запропоновано шляхи вибору оптимального варіанта процесу для забезпечення максимального або мінімального значення параметрів (критерію). Розглянуто фізичну сутність рівняння енергетичних потоків інтенсивності деформації маси середовища. Розглянуто вплив теплових циркуляційних хаотичних потоків, характер яких призводить до порушень загальної теплової циркуляції в середовищі при нагнітанні. Рівні таких порушень можуть бути достатньо глибокими із змінами напрямків в їх контурах, які впливають на процес, відповідно до кожного певного періоду стадії деформації у вузлі нагнітання формувальної машини.

Частково розкрито методики визначення зміни температурних потоків в тісті і на поверхні валка, на основі яких розглянуто зміну енергетичного потенціалу при взаємодії в'язкого середовища із обертовими валковими робочими органами у формувальній машині.

Ключові слова: тісто, нагнітання, теплопровідність, поширення теплоти, тепловий потік, валок, фаза, середовище.

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕСТЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СУШКИ

Стадник И. Я., Пилипец О. М., Поддубный В. А., Веселовская Т. Е.

Аннотация

Проведен аналитический анализ действия валков на среду и её поведение при деформационных воздействиях, предложены пути выбора оптимального варианта процесса для обеспечения максимального или минимального значения параметров (критерия). Рассмотрена физическая сущность уравнения энергетических потоков интенсивности деформации массы среды. Рассмотрено влияние тепловых циркуляционных хаотических потоков, характер которых также приводит к нарушениям общей тепловой циркуляции в среде при нагнетании. Уровни таких нарушений могут быть достаточно глубокими с изменениями направлений в их

контурах, которые влияют на процесс, в соответствии с каждого определенного периода стадии деформации в узле нагнетания формовочной машины.

Частично раскрыто методики определения изменения температурных потоков в тесте и на поверхности вала, на основе которых рассмотрено изменение энергетического потенциала при взаимодействии вязкой среды с вращающимися валковыми рабочими органами в формовочной машине.

Ключевые слова: тесто, нагнетания, теплопроводность, распространение теплоты, тепловой поток, валок, фаза, среда.

SPECIFIC FEATURES OF HEAT EXCHANGE IN THE TEST WHEN FORMING THE DRYING

I. Stadnik, O. Pilipets, V. Poddubny, T. Veselovskaya

Summary

The analytical analyses of roller impact on the medium and its behavior at deformation influences are carried out, ways of choosing an optimal variant of the process for providing the maximum or minimum value of parameters (criterion) are proposed. The physical essence of the equation of energy flows of the intensity of deformation of the mass of the medium, which depends on the method of applying mechanical forces, the degree of its previous dispersion (recipe) and its physical and mechanical properties, is considered. For a more visual view and understanding of the overall performance of the research, a scheme of causal relationships between the medium and the roll, which determine the temperature change of the dough injection process, is proposed. It is noted that the determination of the influence of the temperature of deformation processes during the passage of the process of injection of the medium by roller working bodies plays an important role for calculations of the design of molding, roll-over equipment. The influence of thermal circulatory chaotic streams is considered, the character of which also leads to violations of the general heat circulation in the medium during the injection. At the same time, the level of such violations may be sufficiently deep with changes in the directions in their contours that influence the process, according to each particular period of the deformation stage in the injection site of the molding machine.

Key words: dough, injection, heat conduction, heat propagation, heat flux, roll, phase, medium.