

Theoretical and experimental research on ways to improve study efficiency of chemical redox reactions by activating reagent molecules during their transfer to the excitation level using different power factors.

Molecules-reagents, activation energy, photosynthesis, energy levels, electric field, frequency, high intensity, combustion, radiation.

УДК665.33.001.73

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ НАГРІВУ І СУШІННЯ ЗЕРНОПРОДУКТІВ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯМ

***Б. І. Котов, доктор технічних наук
В. В. Кифяк, інженер***

Наведено математичні моделі процесів нагрівання і сушіння зернових продуктів інфрачервоним випромінюванням та ідентифіковані коефіцієнти рівнянь за даними експериментів.

Інфрачервоне випромінювання, зернопродукти, нагрів, сушіння, рухомий шар.

Задачі покращення якості зернових продуктів, які підлягають зневодненню, потребують подальшого вдосконалення процесів сушіння як у технологічному, так і енергетичному плані. Традиційно сушіння здійснюється переважно в установках із конвективним способом підведення теплової енергії. В літературних джерелах [2–4] відмічається перспективність застосування інфрачервоного випромінювання при переробці рослинної продукції і підготовці до зберігання. Для цього найчастіше використовуються установки періодичної дії. Процеси інфрачервоного сушіння в прохідних установках досліджено недостатньо.

Мета досліджень – вдосконалення математичного опису процесів термообробки і сушіння зерноматеріалів інфрачервоним випромінюванням і практична ідентифікація моделей.

Матеріали та методика досліджень. Специфіка досліджуваного об'єкта обумовлює доцільність використання аналітичного методу досліджень як основного. На першому етапі на основі отриманої інформації про фізичні особливості процесу формулюється математична модель, розв'язується система рівнянь і знаходяться аналітичні вирази для визначення динамічних характеристик процесу. На другому етапі проводяться експерименти щодо визначення перехідних процесів (кінетика нагріву і сушіння матеріалу). На третьому етапі за експериментально отриманими даними визначаються коефіцієнти диференціальних рівнянь. Математична модель повинна відповідати таким вимогам:

- відтворювати тільки ті явища, які вносять суттєвий вклад у перенос теплоти і маси;
- рівняння повинні мати мінімальну кількість змінних, які необхідно визначати експериментально.

Результати досліджень. Сушіння розглянуто як тепловий процес. В основу його математичного опису покладено співвідношення теплового балансу, що записані як система диференціальних рівнянь у частинних похідних.

При виведенні диференціальних рівнянь, що описують процес нагріву зерна в рухомому шарі, зроблено такі припущення:

- нагрівачі та екран приймається як одна ємність з еквівалентною теплоємністю $c_m = c_n m_n + c_e m_e$;
- теплоємність зерна і випромінювача, коефіцієнти теплообміну між зерном, повітрям, випромінювачем і елементами конструкцій від температури не залежать і в часі не змінюються;
- температура випромінювача за довжиною не змінюється;
- нагрів зерна безградієнтний;
- швидкість видалення вологи пропорційна швидкості нагрівання і мають різні знаки:

$$-r \frac{du}{d\tau} = c \frac{d\Theta}{d\tau},$$

де r – теплота пароутворення; c – теплова ємність;

- значення кінетичних констант дорівнюють середнім за процес;
- теплопередачею від зерна до транспортера нехтуємо.

З урахуванням зроблених припущень динаміка нагрівання зерна в рухомому шарі при ІЧ-опромінюванні може бути описана системою двох диференціальних рівнянь:

$$m_1 c_1 \frac{\partial \Theta_1}{\partial \tau} = P - \alpha_1 F_1 (\Theta_1 - \Theta_2) - \alpha_2 F_2 (\Theta_1 - t); \quad (1)$$

$$m_2 c_2 \frac{\partial \Theta_2}{\partial \tau} + G c_2 \frac{\partial \Theta_2}{\partial x} L = A \alpha_1 F_1 (\Theta_1 - \Theta_2) - m_{20} r \frac{\partial u}{\partial \tau} - \alpha_3 F_3 (\Theta_2 - t) - G_o r \frac{\partial u}{\partial x} L, \quad (2)$$

де Θ_1, Θ_2 – температура випромінювача і зерна, °С; t – температура повітря, °С; P – потужність, Вт; L – довжина транспортера, м; F_1 – площа поверхні випромінювача (активна), м²; F_2 – площа поверхні теплообміну випромінювача з повітрям, м²; F_3 – поверхня зерна, м²; $m_1 c_1, m_2 c_2$ – відповідно теплоємність випромінювача і зерна; G, G_o – витрати вологого і сухого зерна (продуктивність), кг/с; α_1, α_2 – лінеаризований коефіцієнт теплообміну випромінюванням і конвекцією між випромінювачем і зерном та повітрям, Вт/м²·°С; α_3 – коефіцієнт тепловіддачі від зерна, Вт/м²·°С; r – питома теплота пароутворення, Дж/кг; u – вологовміст зерна, кг/кг с.р; A – коефіцієнт поглинання випромінювання зерном.

Введемо позначення згрупованих величин у рівняннях (1), (2):

$$T_1 = \frac{m_1 c_1}{\alpha_1 F_1}; T_2 = \frac{m_2 c_2 R b + m_{20} c_2}{R b A \alpha_1 F_1}; T_3 = \frac{c_2 L (G R b + G_o)}{A \alpha_1 F_1 R b};$$

$$a_1 = 1 + \frac{\alpha_3 F_3}{\alpha_1 F_1}; \quad a_2 = 1 + \frac{\alpha_3 F_3}{A \alpha_2 F_2}; \quad b_1 = \frac{\alpha_2 F_2}{\alpha_1 F_1} t + \frac{P}{\alpha_1 F_1};$$

$$b_2 = \frac{\alpha_3 F_3 t}{A \alpha_1 F_1}; \quad Rb = \frac{c}{r} \frac{du}{\partial \tau} \text{ – критерій Ребіндера.}$$

З урахуванням прийнятих позначень перепишемо систему рівнянь (1) і (2) у такому вигляді:

$$\begin{cases} T_1 \frac{\partial \Theta_1}{\partial \tau} = \Theta_2 - a_1 \Theta_1 + b_1 & (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_2 \frac{\partial \Theta_2}{\partial \tau} = \Theta_1 - a_2 \Theta_2 + b_2 - T_3 \frac{\partial \Theta_2}{\partial x} & (4) \end{cases}$$

Система рівнянь (3) – (4) строго аналітичного розв'язку немає, тому використаємо наближений розв'язок за схемою [4].

Для усталеного режиму ($\frac{\partial \Theta_1}{\partial \tau} = 0, \frac{\partial \Theta_2}{\partial \tau} = 0$) із рівнянь (3) і (4) отримаємо нове рівняння, що описує розподіл температури зерна за координатою:

$$T_3 \frac{d\Theta_2}{dx} = a - b\Theta_2, \quad (5)$$

де $a = \frac{b_1}{a_1} + b_2; \quad b = a_2 - \frac{1}{a_1}.$

Розв'язок рівняння (5) за граничних умов: $x=0; \Theta_2=\Theta_{20}$, де Θ_2 – значення температури зерна на вході в установку, отримаємо у вигляді:

$$\Theta_2(x) = \frac{a}{b} - \left(\frac{a}{b} - \Theta_{20} \right) e^{-\frac{b}{T_3} x}. \quad (6)$$

Диференціюючи рівняння (6) і підставляючи отримане значення похідної ($\frac{d\Theta_2}{dx}$) у рівняння (4), після перетворень будемо мати:

$$T_3 \frac{d\Theta_2}{d\tau} = \Theta_1 - a_2 \Theta_2 + b_3(x), \quad (7)$$

де $b_3(x) = b_2 - T_3^{-1}(a - b\Theta_{20}) \exp\left(-\frac{b}{T_3} x\right).$

Розв'язуючи систему рівнянь (3) і (7) відносно Θ_2 і Θ_1 , отримаємо диференціальні рівняння другого порядку, які описують перехідні процеси зміни температури випромінювача і зерна з урахуванням розподілу температури зерна за координатою:

$$A \frac{d^2 \Theta_1(\tau)}{d\tau^2} + B \frac{d\Theta_1(\tau)}{d\tau} + C \Theta_1(\tau) = D_1(x); \quad (8)$$

$$A \frac{d^2 \Theta_2(\tau)}{d\tau^2} + B \frac{d\Theta_2(\tau)}{d\tau} + C \Theta_2(\tau) = D_2(x), \quad (9)$$

де $A = T_1 T_2; \quad B = a_1 T_2 + a_2 T_1; \quad C = a_1 a_2 - 1; \quad D_1 = a_2 b_1 + a_1 b_3(x); \quad D_2 = a_2 b_1 + b_3(x).$

Розв'язок рівнянь (8) і (9) за початкових умов: $t=0$; $\Theta_1 = \Theta_{10}$, $\Theta_2 = \Theta_{20}$, $\frac{\partial \Theta_1}{\partial \tau} = 0$; $\frac{\partial \Theta_2}{\partial \tau} = 0$ отримуємо у вигляді [4]:

$$\Theta_1(\tau, x) = \frac{\Theta_{10}C - D_1(x)}{C(r_1 - r_2)}(r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}) + \frac{D_1(x)}{C}; \quad (10)$$

$$\Theta_2(\tau, x) = \frac{\Theta_{20}C - D_2(x)}{C(r_1 - r_2)}(r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}) + \frac{D_2(x)}{C}, \quad (11)$$

де $r_{1,2} = -\frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$ – корені характеристичного рівняння.

Для отримання рівняння зміни вологовмісту зерна при нагріванні ІЧ-випромінюванням скористаємося визначенням критерію Ребіндера:

$$-dU = \frac{C}{rRb} d\Theta. \quad (12)$$

Диференціюючи рівняння (11) і підставляючи отримане значення в співвідношення (12), після перетворень маємо:

$$-\frac{dU}{\partial \tau} = \frac{\Theta_{20}C - D_2}{C(r_1 - r_2)}(r_1 r_2 e^{r_2 \tau} - r_1 r_2 e^{r_1 \tau}) \frac{C}{r_0 Rb}. \quad (13)$$

Інтегруючи рівняння (13) з урахуванням початкових умов: $t=0$; $U = U_0$ (де U_0 – значення вологовмісту матеріалу на початку процесу), отримуємо рівняння кінетики інфрачервоного сушіння зернових матеріалів у рухомому шарі:

$$U(\tau) = U_0 - \frac{C_2(\Theta_{20}C - D)}{Cr_0 Rb} \left[1 - \frac{1}{r_1 - r_2} (-r_1 e^{r_2 \tau} + r_2 e^{r_1 \tau}) \right]. \quad (14)$$

Для визначення невідомих коефіцієнтів А, В, С, D_2 в аналітичному рішенні системи рівнянь відносно $\Theta_2(t)$ використано експериментальні дані нагріву вологого зерна ячменю. Як метод оцінки використовували [5] алгоритм Левенберга-Маркварда, який є найрозповсюдженішим алгоритмом для мінімізації середньоквадратичних відхилень. Сутність методу полягає в обчисленні таких оцінок коефіцієнтів А, В, С, D_2 аналітичного розв'язку (11), які забезпечили б мінімум функціонала:

$$I = \sum_{i=1}^n (\bar{\Theta}_i - \Theta(\bar{\tau}_i))^2 \rightarrow \min, \quad (15)$$

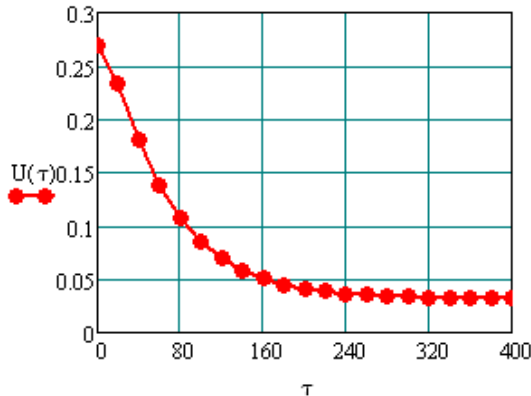
де $\bar{\Theta}_i, \bar{\tau}_i$ – експериментальні дані.

Реалізацію цього алгоритму проводили у математичному середовищі Mathcad 14 за допомогою вбудованої функції genfit. Кінетика сушіння ідентифікується шляхом визначення інтегрального числа Ребіндера, фактично за кількістю видаленої вологи.

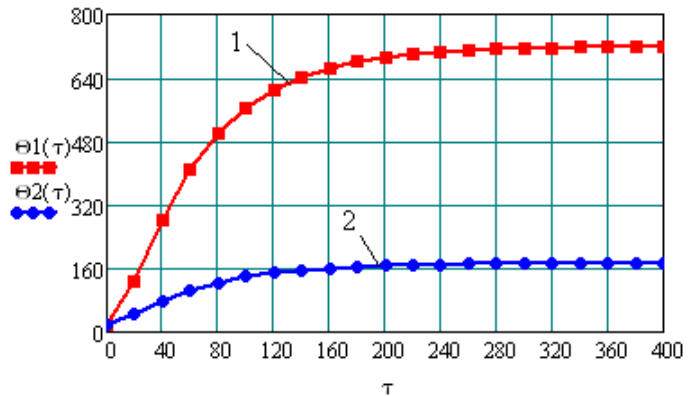
Результати ідентифікації динамічних режимів інфрачервоного нагріву і сушіння зерна наведено на рисунку у вигляді кривих перехідного процесу.

З вищенаведеного випливає, що апробовано досить ефективний підхід до параметричної ідентифікації процесу теплової обробки зернома-теріалів, який вирішує задачу визначення динамічних характеристик двох

ємностей – вимірювача і зерна за наявності експериментальних даних про перехідний процес одного з них.



а



б

Зміна параметрів процесу зерна за часом:

а – вологовмісту зерна $U(\tau)$, кг/кг-с.р.;

б – температури випромінювача $\Theta_1(\tau)$ (1) та зерна $\Theta_2(\tau)$ (2), °C

Висновки

Отримано аналітичні залежності зміни температури випромінювача і матеріалу в часі, які дозволяють на основі експериментально визначеної кривої розігріву випромінювача визначити динаміку зміни температури і вологовмісту рухомого шару зернових матеріалів.

Список літератури

1. Беляев М. И. Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов / М. И. Беляев, П.Л. Пахомов. – Х.: ХИОП, 1991. – 60 с.
2. Елькин Н.В. Высокотемпературные инфракрасные технологии нового тысячелетия / Н.В. Елькин // Хранение и переработка зерна. – 2002. – № 9. – С. 47 – 50.
3. Елькин Н.В. Теория и практика инфракрасной обработки зерна и крупы / Н.В. Елькин // Хранение и переработка зерна. – 2006. – № 4. – С. 26 – 30.
4. Котов Б.І. Аналітичне дослідження перехідних режимів нагрівання зерна в електротерморадіаційних установках безперервної дії / Б.І. Котов, Р.А. Калініченко, В.В. Кифяк // Вісник Харківського техн. ун-ту сільського госп-ва. – 2012. – Вип. 133. – С. 57 – 65.
5. Лисенко В.П. Ідентифікація процесу нагріву зерна ріпаку / В.П. Лисенко, Р.А. Калініченко, Д.С. Комарчук // Науковий вісник НУБіП України. – 2012. – № 174, ч. 1. – С. 98–100.
6. Поперечний А.М. Кінетика процесу сушіння плодкових кісточок у віброкиплячому шарі при інфрачервоному нагріванні / А.М. Поперечний, Н.О. Миронова // Вісник Харків. техн. ун-ту сільського госп-ва. – 2007. – Вип. 58. – С. 122 – 129.

Приведены математические модели процессов нагрева и сушки зерновых продуктов инфракрасным излучением и идентифицированы коэффициенты уравнений по данным экспериментов.

Инфракрасное излучение, зернопродукты, нагрев, сушка, движущийся слой.

The mathematical models of the heating and drying of grain products and identified by infrared radiation coefficient equations for experimental data.
Infrared radiation, grain products, heating, drying, rolling ball.

УДК 621.314.55(088.8)

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБМОТКИ ЗВ'ЯЗКУ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

***М. В. Брагіда, кандидат технічних наук
В. О. Фесенко, студент магістратури***

Наведено конструкцію зварювального трансформатора та запропоновано методику розрахунку параметрів обмотки регулювання струму зварювання.

Зварювальний трансформатор, тороїд, магнітопровід, обмотка регулювання, обмотка зв'язку, дросель.

Зварювальні трансформатори на тороїдних магнітних осердях мають суттєві переваги перед трансформаторами класичного виконання:

- відсутні втрати енергії магнітного поля на розсіювання;
- відсутні механічні регулятори струму зварювання, а відповідно і вібрації та шумові явища;
- зменшені масо-габаритні показники та спрощене конструктивне виконання;
- зменшені втрати електричної енергії на регулювання величини струму зварювання.

Переваги досягаються принципово новим технічним рішенням.

Мета досліджень – обґрунтування параметрів обмотки зв'язку зварювального трансформатора на тороїдних магнітопроводах.

Матеріали та методика досліджень Запропоноване нове технічне рішення зварювального трансформатора на тороїдних магнітопроводах [3] дозволило регулювати струм зварювання шляхом взаємокомпенсації складових магнітного потоку. При такому конструктивному виконанні зварювального трансформатора величину струму зварювання можна регулювати зміною індуктивного опору обмотки зв'язку. Регулювання не призведе до значних змін напруги вторинної обмотки. Узгоджене з'єднання обмоток навіть підвищить її.