

Приведены результаты экспериментальных исследований сжигания пропана и природного газа в воздухе под воздействием высоковольтного пульсирующего неравномерного электрического поля. Снижение времени нагревания воды на 22 % при частоте 90–120 Гц свидетельствует о повышении эффективности сжигания углеводородных энергоносителей в высоковольтном электрическом поле. Полученные математические модели дают возможность математической интерпретации полученных результатов.

Эффективность, сжигание, пропан, природный газ, активация, электрическое поле, математическая модель.

The results of experimental researches of propanou and natural gas incineration in mid air under high-voltage pulsating uneven electric field action are resulted. Decline of time of water heating on 22 % at frequency 90-120 Hz testifies to the rise of incineration efficiency of hydrocarbon power mediums in the high-voltage electric field. The got mathematical models enable mathematical interpretation of the got results.

Efficiency, burning, propanou, natural gas, activation, electric field, mathematical model.

УДК 665.33.001.73

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ НАГРІВУ ЗЕРНА РІПАКУ В ЩІЛЬНОМУ ШАРІ ПРИ КОНДУКТИВНОМУ ПІДВЕДЕННІ ТЕПЛА ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ

**В.П. Лисенко, кандидат технічних наук¹
Р.А. Калініченко, кандидат технічних наук²
Д.С. Комарчук, аспірант***

Створено математичну модель процесу нагріву зерна ріпаку при кондуктивному підведенні тепла. Розглянуто експериментальне визначення теплофізичних характеристик зерна ріпаку.

Математичне моделювання, тепловий процес, ріпак, олія, термообробка, кондуктивний нагрів.

У технологічних процесах різних галузей промисловості, де використовується проміжний дисперсний теплоносій, при утилізації тепла виникає потреба у нагріванні дрібнодисперсних матеріалів. Здійснення

1 – Національний університет біоресурсів і природокористування України
2 – ВП НУБіП України “Ніжинський агротехнічний інститут”

* Науковий керівник – кандидат технічних наук, професор В.П. Лисенко
© В.П. Лисенко, Р.А. Калініченко, Д.С. Комарчук, 2012

цих процесів при безпосередньому контакті сипучого матеріалу з нагрівальним середовищем у киплячому або щільному шарі, що продувається, ускладнено у зв'язку зі значним гідравлічним опором. У ряді випадків безпосередній контакт такого матеріалу з теплоносієм неприпустимий з технологічних міркувань через небажаність хімічної взаємодії, забруднення теплоносія, розведення теплоносієм одержуваних продуктів, зміни вологості продукту і т.д. [2,3]. Тому виникає потреба у застосуванні поверхневих теплообмінних апаратів.

Широкому поширенню поверхневих теплообмінників із щільним, рухомим шаром заважає складна ідентифікація процесів теплообміну. А саме визначення коефіцієнта теплообміну α , що характеризує ефективність роботи теплообмінника. У літературі коефіцієнт теплообміну виражають безрозмірним критерієм Нуссельта Nu [4], що характеризує інтенсивність теплообміну в пограничному шарі.

Переробка ріпаку на прес-екструдерах також потребує нагріву зерна до температури 115°C . Для ідентифікації процесу нагріву необхідно знати коефіцієнт теплообміну та теплоємність матеріалу. Зважаючи, що сорти ріпаку різноманітні, теплофізичні характеристики кожного сорту будуть різними [3]. Політика комерційної таємниці виробника посівного матеріалу, виробничі умови або стислі строки виконання замовлення з переробки олійного матеріалу вимагають розробки методики для визначення теплофізичних характеристик зерна ріпаку.

Мета роботи – розробити математичну модель та методику визначення теплофізичних характеристик насіння ріпаку при використанні кондуктивного теплообміну за експериментальними даними.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проведено з використанням методів математичного моделювання та теорії тепло-масообміну.

Результати досліджень. Механізм процесу нагріву дрібнозернистого, полідисперсного матеріалу може змінюватись залежно від фізичних властивостей матеріалу, площі та часу контакту матеріалу з нагрівачем.

Загальна кількість теплоти Q_1 , що проходить через площу контакту, визначається рівнянням:

$$Q_1 = F\alpha\Delta t_{\text{над}}\tau, \quad (1)$$

де F – площа контакту, m^2 ; α – коефіцієнт теплообміну; $\Delta t_{\text{сер}}$ – різниця температури поверхні нагрівача та поверхні матеріалу, $^{\circ}\text{C}$; τ – час контакту матеріалу з поверхнею, c .

Сумарна кількість переданої теплоти, яка акумульована матеріалом:

$$Q_2 = c_m m_i (\Theta_{i2} - \Theta_{i1}), \quad (2)$$

де c_m – теплоємність матеріалу, $\text{Дж}/^{\circ}\text{C}$; m_m – маса матеріалу, кг ; Θ_{M1}, Θ_{M2} – температура матеріалу на початку та в кінці процесу нагріву, $^{\circ}\text{C}$.

Прирівнюючи рівняння (1) та (2), отримуємо вираз для коефіцієнта теплообміну:

$$\alpha = \frac{m_m c_m (\Theta_{m2} - \Theta_{m1})}{F \Delta t_{сер} \tau} \quad (3)$$

При розрахунках величини коефіцієнта теплообміну, як правило, приймають, що температурний напір Δt для будь-якого моменту часу змінюється за залежністю [6]:

$$\Delta t_{сер} = \frac{t_n - \Theta_m}{\ln \left(\frac{t_n}{\Theta_m} \right)}. \quad (4)$$

При визначенні коефіцієнта теплообміну згідно виразу (3) за величину поверхні тепловіддачі доцільно прийняти повну поверхню нагрівача, яка контактує з шаром зерна, оскільки визначити дійсну поверхню контакту практично неможливо, а маса матеріалу визначається як сума маси зерна і повітря у міжзерновому просторі.

Оскільки, поверхня нагрівального елемента контактує із зерном та з між-зерновим об'ємом повітрям, нагрівання дрібного зерна приймається без градієнтним [5].

Для визначення середнього коефіцієнта ефективної тепловіддачі потрібно знати залежності зміни температури зерна Θ_3 від часу τ при потужності P , переданої в нагрівач.

Враховуючи зроблені припущення, тепловий баланс нагрівача і зерна може бути визначений як:

$$\begin{cases} m_n c_n \frac{d\Theta_n}{d\tau} = P_n - \alpha F (\Theta_n - \Theta_3) & (5) \\ m_3 c_3 \frac{d\Theta_3}{d\tau} = \alpha F (\Theta_n - \Theta_3) & (6) \end{cases}$$

де m_n, c_n – маса і питома теплоємність нагрівача відповідно, кг, Дж/кг⁰С; m_3, c_3 – маса і питома теплоємність зерна відповідно, кг, Дж/кг⁰С; F – площа нагрівача, м²; Θ_n, Θ_3 – температура нагрівача та зерна, ⁰С; α – коефіцієнт теплообміну, Вм/м²°С.

У рівняннях (5) і (6) не представлені витрати тепла на випаровування вологи та втрату тепла в навколишнє середовище, оскільки корпус нагрівальної установки теплоізований.

Визначаючи з рівняння (6) температуру нагрівача Θ_n та її похідну за часом і підставляючи отримані значення в рівняння (5), після перетворень отримаємо рівняння зміни температури зерна в часі, тобто розв'язок системи (5), (6) відносно $\Theta_3(\tau)$:

$$\Theta_i = \Theta_\zeta + \frac{m_\zeta \tilde{n}_\zeta}{\alpha F} \frac{d\Theta_\zeta}{d\tau}, \quad (7)$$

$$\frac{d\Theta_i}{d\tau} = \frac{m_\zeta \tilde{n}_\zeta}{\alpha F} \frac{d^2\Theta_\zeta}{d\tau^2} + \frac{d\Theta_\zeta}{d\tau}. \quad (8)$$

Розв'язок рівняння (8) має вигляд:

$$\Theta_3(\tau) = \Theta_{30} + P(m_n c_n + m_3 c_3) \tau + \frac{m_n c_n m_3 c_3 \alpha F}{m_n c_n + m_3 c_3} P(m_n c_n + m_3 c_3) \left(e^{-\frac{m_n c_n + m_3 c_3}{m_n c_n m_3 c_3 \alpha F} \tau} - 1 \right), \quad (9)$$

де Θ_{30} – температура зерна на початку процесу, °С.

У рівнянні (9) два невідомих параметри, які характеризують інтенсивність тепловіддачі c_3 та α , їх значення можна отримати експериментально.

Таким чином, для ідентифікації динамічних властивостей процесу нагріву зерна можна використовувати рівняння (9), що містить теплофізичні параметри нагрівача та шару зерна.

Метод експериментальних досліджень оснований на використанні закономірностей нестационарного нагріву двох напівобмежених тіл [7], у точці контакту яких розміщене джерело нагріву постійної потужності.

Обладнання, що використовувалось для експерименту:

- цифрові термометри DS18B20;
- плоский мідний нагрівач 10x10 мм;
- цифровий перетворювач для з'єднання температурних датчиків з ПК;
- цифровий мультиметр Mastech M9803R;
- комп'ютер.

Загальний вигляд вимірювальної ємності показано на рис 1. Відстань від нагрівача до датчика температури вибрана такою, щоб тепловий потік, що проходить через зерно не спотворювався.

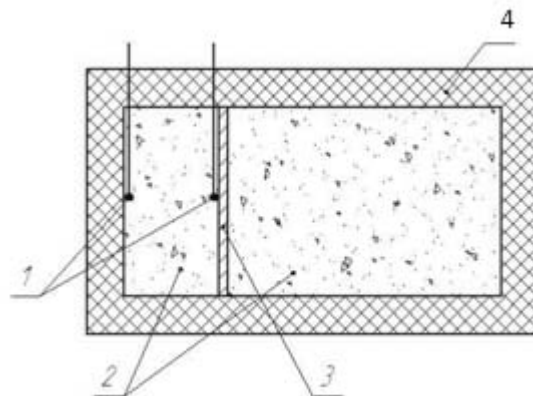


Рис 1. Принципова схема установки:

- 1 – термодатчик; 2 – зерно ріпаку; 3 – плоский нагрівач;
4 – теплоізолюючий матеріал

Для ідентифікації моделі об'єкта використовуємо експериментальну криву розгону системи «нагрівач-шар зерна» (рис. 2).

Для визначення α скористаємось алгоритмом Левенберга–Марквардта [1]. Перед початком роботи алгоритму задається початковий вектор параметрів α , що оснований на експериментальних даних (рис. 2). На кожному кроці ітерацій цей вектор замінюється на вектор $\alpha + \Delta\alpha$. Для оцінки приросту використовується лінійне наближення функції:

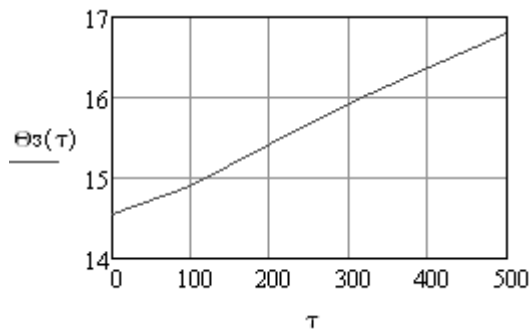


Рис. 2. Експериментальна крива розгону системи «нагрівач-шар зерна»

$$f(x, \alpha + \Delta\alpha) \approx f(x, \alpha) + J\Delta\alpha, \quad (10)$$

де J – яacobian функції $f(x_i, \alpha)$ в точці α ,

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x_1, \alpha)}{\partial \alpha_1} & \dots & \frac{\partial f(x_1, \alpha)}{\partial \alpha_n} \\ \frac{\partial f(x_m, \alpha)}{\partial \alpha_1} & \dots & \frac{\partial f(x_m, \alpha)}{\partial \alpha_n} \end{bmatrix},$$

де m – число експериментальних значень.

Алгоритм завершує свою роботу в тому випадку, якщо приріст $\Delta\alpha$ в наступній ітерації менше заданого значення, або якщо помилка (10) виявляється менше заданої величини. Значення вектора α на останній ітерації вважається шуканим. В результаті отримуємо: $c_3 = 1779 \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$, $\alpha = 150$.

Підставимо отримані значення в рівняння (9) та побудуємо графік зміни температури зерна ріпаку в часі:

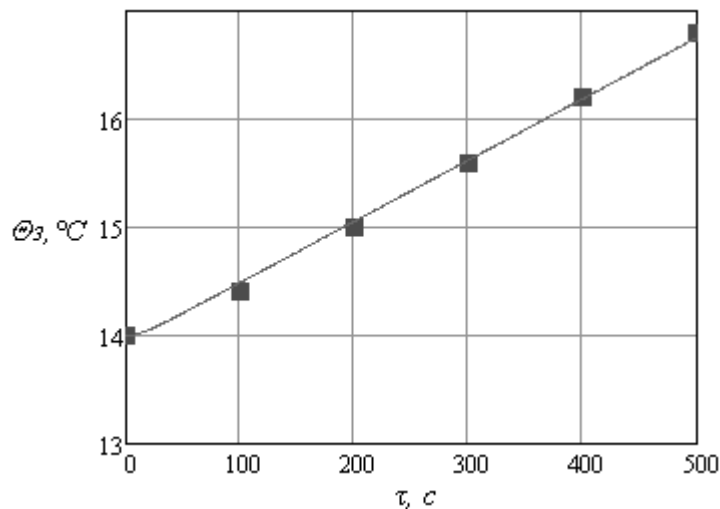


Рис. 3. Зміна температури зерна ріпаку в часі при кондуктивному нагріві (■ – експериментальні дані; — – теоретична крива)

Обчислимо похибку моделі за формулою:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2}{n-2}} \cdot 100\%,$$

де n – кількість спостережень; Y_i – значення параметра, розрахованого за моделлю; y_i – значення вимірюваного параметра.

$$m = \sqrt{\frac{(0.013767)^2}{5-2}} \cdot 100 = 6.77, \%$$

Висновки

Створено математичну модель процесу нагріву зерна ріпаку при кондуктивному підведенні тепла. Розглянуто експериментальні визначення теплофізичних характеристик зерна ріпаку та розроблено методику визначення коефіцієнта тепловіддачі та питомої теплоємності.

Список літератури

1. Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт: пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 509 с.
2. Гинзбург А.С. Сушка пищевых продуктов в кипящем слое / А.С. Гинзбург, В.А. Резчиков. – М.: Пищевая пром-сть, 1966. – 196 с.
3. Гинзбург А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов / А.С. Гинзбург, М.А. Громов, Г.И. Красовская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
4. Календарьян В.А. Теплоотдача плотного движущегося слоя / В.А. Календарьян, В.А. Карнераки. – К.: Вища шк., 1973. – 187 с.
5. Кришер О. Научные основы техники сушки / О. Кришер. – М.: Иностранная лит-ра, 1961. – 232 с.
6. Курочкин Ю.П. Теплообмен между трубами различного профиля и потоком зернистого материала / Ю.П. Курочкин // ИФЖ. – 1966. – Т. 10. – № 6. – С. 759–763.
7. Чудновский А.Ф. Теплообмен в дисперсных средах / А.Ф. Чудновский. – М.: Гос. изд-во. технико-теоретической лит-ры, 1954. – 444 с.

Создана математическая модель процесса нагрева зерна рапса при кондуктивном подведении тепла. Рассмотрено экспериментальное определение теплофизических характеристик зерна рапса.

Математическое моделирование, тепловой процесс, рапс, масло, термообработка, кондуктивный нагрев.

The mathematical model of heating rape seeds at conductive supply of heat is created. The experimental determination of thermo-physical characteristics of the rape grains proposed.

Mathematical modeling, research, heat processing, rapeseed, oil, heat processing.