

УДК 665.33.001.73

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ
ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ПРЕС-ЕКСТРУДЕРА З
ІНДУКЦІЙНИМ ОБІГРІВОМ ЯК ОБ'ЄКТА З
РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Лисенко В.П., к.т.н.,

Котов Б.І., д.т.н.,

Комарчук Д.С., аспірант*

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Калініченко Р.А., к.т.н.

ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут"

Тел. (068)129-36-47

Анотація – створено математичну модель процесу нагріву зерна ріпаку в прес-екструдері з індукційним обігрівом урахуванням розподілу температури в напрямку руху матеріалу.

Ключові слова – математичне моделювання, прес-екструдер, тепловий процес, ріпак, олія.

Постановка проблеми. У процесах видалення олії із насіння олійних культур широко використовують шнекові преси – прес-екструдери. Незважаючи на відносно незначну продуктивність екструдерів витрати енергії на нагрівання складають вагомий частку усіх затрат енергії на пресування. Продуктивність прес-екструдера, кількість і якість отриманої олії особливо залежить від температури при якій переробляється продукт [5]. Температура в свою чергу залежить від теплових процесів, що супроводжують процес пресування.

Аналіз останніх досліджень. Ріпакова олія відрізняється від соняшникової як за жирно-кислотним складом, так і за кількісними та якісними характеристиками супутніх тригліцеридів. До її складу входять дві поліненасичені жирні кислоти: лінолева та ліноленова - обидві наш організм синтезувати не може і так само не може без них функціонувати. Вміст сполук сірки в нерафінованій ріпаковій олії варіює від 10 до 300, а в рафінованій від 0,5 до 5 мг/г [3].

На технічні потреби ріпакову олію використовують у машинобудівній і металургійній промисловості, при виробництві нейлонів, клею, фарб, як сировину для виготовлення пральних порошоків, мила та інших миючих засобів, а також у поліграфії.

* Науковий керівник – к.т.н. Лисенко В.П.

© к.т.н. Лисенко В.П., д.т.н. Котов Б.І., к.т.н. Калініченко Р.А., аспірант Комарчук Д.С.

Останнім часом намітився новий напрям використання ріпакової олії – вона виявилась цілком придатною як джерело паливної енергії для автомобільних двигунів. При цьому використовують чисту олію холодного пресування та етерифіковану [4].

Французька компанія «Рено» успішно випробувала автомобіль, що працює на ріпаковому пальному. Оснащений таким пальним «Рено-21» пройшов 19 тис. км, показавши високу швидкість і економічність (витрати пального 4 л на 100 км) [1]. За оцінкою експертів втрата потужності двигуна після переведення його на біопальне становить лише 5-10 %. Отже пальне з ріпаку виявилось не лише екологічно чистим, але й конкурентоздатним та надійним у роботі.

Акцентуючи увагу на кормовій цінності ріпаку, слід підкреслити як озимі, так і ярі форми цієї культури є багатим джерелом високоякісних кормів для різних видів сільськогосподарських тварин. Більше того, у зв'язку з високим вмістом жиру ріпакове насіння належить до групи високоенергетичних кормів – в 1 кг його міститься 1,7-2,1 кормової одиниці [2].

Формулювання мети статті. Метою даної роботи є розробка математичної моделі теплових процесів у прес-екструдері враховуючи розподіл температури в напрямку руху матеріалу та визначення основних закономірностей зміни температури в часі та за координатою.

Основна частина. Складність математичного моделювання полягає в тому, що інтенсивність теплових процесів суттєво змінюється за довжиною робочої зони преса. Тому для визначення раціональних режимів роботи пресів і реалізації системи автоматичного керування температурою необхідно мати температурну модель, що враховує зміну температури за координатою.

Фізична модель процесу: вздовж каналу утвореного внутрішньою поверхнею корпусу і валом шнека рухається зерновий матеріал з постійною швидкістю ($v=G/S$). Стінка циліндричного корпусу нагрівається циліндричним індуктором і її температурне поле рівномірне за усім об'ємом корпусу. Теплота від внутрішньої стінки корпусу кондуктивною теплопередачею передається шару зерна, що рухається. Завдяки частковим перемішуванням шару зерна його температура в радіальному напрямку приймається не змінною. Теплота від зовнішньої поверхні конвективним теплообміном передається в оточуюче середовище(зовнішнє повітря).

Для математичного опису приймемо такі припущення:

- прес розглядається як двоємнісний об'єкт: корпус – олійний матеріал;
- температура зерна і шнека однакова;
- теплофізичні властивості ємностей і коефіцієнти теплообміну від температури не залежать і в часі не змінюються;

- градієнтами температури в радіальному напрямку нехтуємо;
- корпус є інерційною ланкою з зосередженими параметрами.

Математичну модель установки визначимо у вигляді рівнянь динаміки зміни температури корпусу і зерно продукту на основі теплового балансу:

$$\begin{cases} m_1 c_1 \frac{d\Theta}{d\tau} = P - \alpha_1 f_1 (\Theta - t) - \alpha_2 f_2 (\Theta - t_v) \\ m_2 c_2 \frac{dt}{d\tau} + c_2 GL \frac{dt}{dx} = \alpha_1 f_1 (\Theta - t) \end{cases}; \quad (1)$$

де P – потужність нагрівача, $Вт$;

$m_1 c_1$ – приведена теплоємність корпусу і нагрівача, $Дж/°С$;

$m_2 c_2$ – приведена теплоємність шнека та зерна, $Дж/°С$;

G – продуктивність, $кг/год$;

α_1, α_2 – коефіцієнти теплообміну кондуктивного і конвективного відповідно, $Вт/м^2 °С$;

f_1, f_2 – внутрішня і зовнішня поверхня корпусу, $м^2$;

Θ, t – температура корпусу та зерна, $°С$;

Визначення залежності $\Theta(\tau, x)$ отримаємо наближеним розв'язком, за умові встановленого(сталого) режиму при $\frac{d\Theta}{d\tau} = 0$; $\frac{dt}{d\tau} = 0$ визначимо з першого рівняння системи (1) величину Θ

$$\Theta = \frac{P + \alpha_2 f_2 t_v}{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2} + \frac{\alpha_1 f_1}{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2}; \quad (2)$$

Та підставляємо в друге рівняння системи (1), отримуємо:

$$\frac{c_2 GL}{\alpha_1 f_1} \frac{dt}{dx} = \frac{P + \alpha_2 f_2 t_v}{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2} - \left(1 - \frac{\alpha_1 f_1}{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2} \right) \cdot t; \quad (3)$$

Розв'язок рівняння (3) при граничних умовах: $x=0$; $t(x)=t_1$

$$t(x) = \frac{a}{b} - \left(\frac{a}{b} - t_1 \right) \cdot e^{-\frac{x}{T_1} b}, \quad (4)$$

де $T_1 = \frac{c_2 GL}{\alpha_1 f_1}$; $a = \frac{P + \alpha_2 f_2 t_v}{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2}$; $b = 1 - \frac{\alpha_1 f_1}{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2}$.

Продиференціюємо $t(x)$ по x , маємо: $\frac{dt}{dx} = \frac{b}{T_1} \left(\frac{a}{b} - t_1 \right) e^{-\frac{x}{T_1} b} = f(x)$, підставимо отримане значення $f(x) = \frac{dt}{dx}$ в друге рівняння системи (1).

Після перетворення систему рівнянь (1) запишемо у вигляді:

$$\begin{cases} T_1 \frac{d\Theta}{d\tau} = b_1 - a_1 \Theta_t + t \\ \frac{d\Theta}{d\tau} = T_2 \frac{d^2 t}{d\tau^2} + \frac{d\Theta}{d\tau} \end{cases}; \quad (5)$$

$$\text{де: } T_1 = \frac{m_1 c_1}{\alpha_1 f_1}; \quad T_2 = \frac{m_2 c_2}{\alpha_1 f_1}; \quad b_1 = \frac{P + \alpha_2 f_2 t_v}{\alpha_1 f_1}; \quad b_2 = \frac{c_2 GL}{\alpha_1 f_1} f(x).$$

Підставляючи значення Θ та її похідну в систему (5) після перетворень отримаємо зміну температури зерно-продукту в перехідному режимі

$$T_1 T_2 \frac{d^2 t}{d\tau^2} + (T_1 + a_1 T_2) \frac{dt}{d\tau} + (a_1 - 1)t = b_1 - a_1 b_2; \quad (6)$$

Розв'язок рівняння (6) при початкових умовах: $\tau = 0; \quad t = t_0; \quad \frac{dt}{d\tau} = 0$ буде мати вигляд

$$t(\tau, x) = \frac{C t_0 - D}{C(r_1 - r_2)} (r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}) + \frac{D}{C}; \quad (7)$$

$$\text{де } r_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}; \quad D = (b_1 - a_1 b_2); \quad C = (a_1 - 1); \quad B = T_1 + a_1 T_2; \quad A = T_1 T_2.$$

Розподіл температури матеріалу наведено на рис. 1 для насіння ріпаку, що рухається в робочій зоні прес-екструдера при температурі навколишнього середовища та температурі зерна на рівні 20 °С.

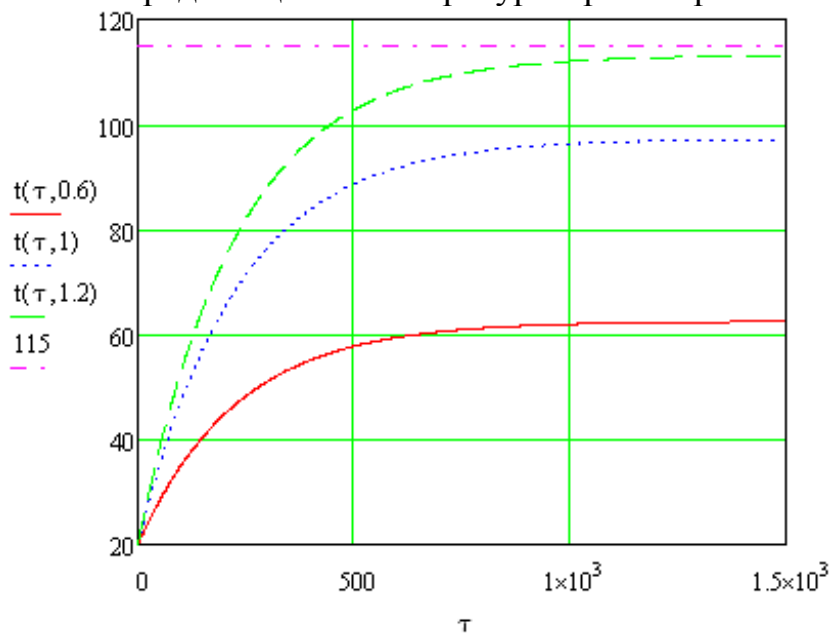


Рис. 1. Розподіл температури матеріалу в напрямку руху від завантажувальної горловини на відстані: 0.6, 1, 1.2 метри (t , °C; τ , с).

Висновки. Створено математичну модель процесу нагріву зерна ріпаку в прес-екструдері при використанні індукційного нагріву з урахуванням розподілу температури в напрямку руху матеріалу. Встановлені основні закономірності зміни температури матеріалу в часі та за координатою.

Література

1. Бардин Я.Б. Ріпак: від сівби до переробки / Я.Б. Бардин. – К.: Світ, 2000. – 106 с.
2. Гайдаш В.Д. Ріпак – культура великих можливостей / В.Д. Гайдаш, Г.М. Ковальчук, Г.Т. Дем'янчук. – Ужгород: Карпати, 1986. – 62 с.
3. Гайдаш В.Д. Ріпак / В.Д. Гайдаш, М.М. Климчук, М.М. Макар. – Івано-Франківськ: Сіверсія, 1998. – 224 с.
4. Касіяничук В.Д. Переробка насіння на олію. Ріпак / В.Д. Касіяничук, Л.Д. Семенова. – Івано-Франківськ: Сіверсія ЛТД, 1998. – С.189–205.
5. Лисенко В.П. Математичне моделювання теплових процесів прес-екструдера з індукційним обігрівом / В.П. Лисенко, Б.І. Котов, Д.С. Комарчук // Науковий вісник. – К.: НУБіП, 2011. – № 166, ч. 4. – С.113–119.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРЕСС-
ЭКСТРУДЕРА С ИНДУКЦИОННЫМ ОБОГРЕВОМ КАК
ОБЪЕКТА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Лисенко В.П., Котов Б.И., Калініченко Р.А., Комарчук Д.С.

Аннотация

Создана математическая модель процесса нагрева семян рапса в пресс-экструдере с индукционным обогревом учитывая распределение температуры в направлении движения материала.

**THE MATHEMATICAL MODEL OF THERMAL
PROCESSES IN THE SCREW PRESS WITH INDUCTION
HEATING AS OBJECT WITH DISTRIBUTED PARAMETERS**

V. Lysenko, B. Kotov, R. Kalinichenko D. Komarchuk

Summary

The mathematical model thermal processes in the press extruder with induction heating taking into account the temperature distribution in the direction of the material are considered.