

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-2-4>

УДК 664 (075.8)

В. В. Дідур<sup>1</sup>, д-р техн. наукЯ. В. Білокінь<sup>2</sup>, аспірантО. В. В'юник<sup>3</sup>, інж., ст. викл.Г. І. Дашивець<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0001-7584-5073

ORCID: 0009-0003-4510-2780

ORCID: 0000-0002-6413-5567

ORCID: 0000-0003-2612-6077

<sup>1</sup> Уманський національний університет<sup>2</sup> Полтавський державний аграрний університет<sup>3</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: didur.vv@gmail.com

## ТЕПЛОФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПРЕС-ЕКСТРУЗІЇ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

*Анотація.* У статті представлено результати аналізу теплофізичної моделі п'ятизонного прес-екструдера маслянистих культур, визначені керуючі збурення адаптивної системи управління для досягнення цим агрегатом максимально можливого значення кількості корисного продукту – рослинної олії, підготовлено теоретичну основу для розробки алгоритму функціонування системи управління згаданим агрегатом, намічені перспективи подальших досліджень.

*Ключові слова:* прес-екструдер, маслянисті культури, теплофізична модель, адаптивна система управління, керуючі збурення, рослинна олія, оптимізація, багатозонний агрегат, алгоритм керування, математичне моделювання.

*Постановка проблеми.* Прес-екструдери олійних культур, призначені для віджимання олієвмісної сировини й отримання корисного продукту у вигляді рослинних олій, є яскравими представниками агрегатів класу багатозонних прохідних установок [1–3]. Введення в експлуатацію подібних об'єктів дає змогу досягати певних економічних результатів, чому сприяє нова промислова політика України. Подальше вдосконалення таких стратегічно важливих об'єктів, як прес-екструдери олійних культур, може сприяти покращенню їхніх технічних і технологічних характеристик. Зокрема, отримання максимально можливої кількості рослинної олії на виході є пріоритетним техніко-економічним завданням для зазначених агрегатів [4].

За сучасних умов найбільш раціональним шляхом пошуку оптимізаційних рішень є аналіз моделей досліджуваних об'єктів. Авторами було проведено детальний аналіз теплофізичної моделі п'ятизонного прес-екструдера олійних культур [5–7], а також моделі його спостерігача [5] і встановлено, що вдосконалення агрегату можливе шляхом застосування нової, більш досконалої системи керування.

*Аналіз останніх досліджень.* У [5] було вирішено задачу збільшення кількості рослинної олії у прес-екструдерах шляхом використання адаптивної системи керування. Керуючими впливами в цій системі виступали температури зон нагріву. Недоліком вибору таких керувань є інерційність виходу показників температур на задані рівні, що обмежувало спектр використання агрегатів у виробництві [8–12]. Оскільки постійні часу температур зон нагріву в агрегатах визначаються десятками хвилин, базовий п'ятизонний прес-екструдер з продуктивністю 800 кг вихідної сировини за зміну з реалізованою адаптивною системою керування здатний



ефективно працювати лише з великими партіями сировини. У разі переробки малих партій (давальноницька схема) відбувається порушення нерівності:

$$t_d \ll t_E,$$

де:  $t_d$  – час руху до екстремуму,  $t_E$  – час стабілізації екстремуму, що призводить до ефекту постійного пошуку екстремуму, невиходу на екстремум за необхідний проміжок часу, роботи в неоптимальних температурних діапазонах і, як наслідок, втрат вихідного корисного продукту.

*Мета статті.* У цій статті авторами зроблено спробу знайти інші керуючі впливи, використання яких дасть можливість усунути (або зменшити) вищезазначені недоліки роботи прес-екструдера олійних культур.

*Основна частина.* Аналіз теплофізичної моделі п'ятизонного прес-екструдера олійних культур, визначення керуючих впливів системи керування для досягнення агрегатом максимального можливого значення кількості корисного продукту (рослинної олії), підготовка обґрунтування для розробки алгоритму функціонування системи керування досліджуваного агрегату.

Аналіз теплофізичної моделі прес-екструдера олійних культур. Як базову модель прес-екструдера обираємо [4]:

$$\begin{cases} T_1 = \frac{qP}{MC_1} + \frac{qQl_1}{MC_1l} \\ T_2 = T_1 + \frac{qP}{MC_2} + \frac{qQl_2}{MC_2l} \\ T_3 = T_2 \exp\left(-\frac{\alpha q S_3}{\beta_1 MC_3}\right) + \frac{qQl_3}{MC_3l}, \\ T_4 = T_3 + \frac{qP}{\beta_1 MC_4} + \frac{qQl_4}{MC_4l} \\ T_5 = T_4 \exp\left(-\frac{\alpha q S_5}{\beta_2 MC_5}\right) + \frac{qQl_5}{MC_5l} \end{cases} \quad (1)$$

де  $T_1, T_2, T_4$  – температура сировини в зонах нагрівання,  $T_3, T_5$  – температура сировини в зерних зонах;

$C_1, \dots, C_5$  – густина сировини у відповідних зонах;

$P$  – потужність нагрівача;

$Q$  – потужність внутрішнього тепловиділення;

$\alpha$  – коефіцієнт теплового обміну;

$M$  – маса сировини, що проходить через екструдер;

$q$  – коефіцієнт зв'язку;

$S_3, S_5$  – площа зерних зон, через які виводиться рослинна олія;

$l_1, l_2, l_4$  – довжина зон нагрівання;

$l_3, l_5$  – довжина зерних зон;

$\beta_1, \beta_2$  – кількість маси, що переходить до наступної зони.

Рівняння (1) можна подати у вигляді:

$$\begin{cases} T_1 = A_1 + B_1 \\ T_2 = T_1 + A_2 + B_2 \\ T_3 = T_2 \exp\left(-\frac{A_3}{\beta_1}\right) + Q_1 B_3 \\ T_4 = T_3 + A_4 + B_4 \\ T_5 = T_4 \exp\left(-\frac{A_5}{\beta_2}\right) + Q_2 B_5 \end{cases} \quad (2)$$

Коефіцієнти  $A_1, A_2, \dots, A_5, B_1, B_2, \dots, B_5$  у рівнянні 2 інтегрально відображають властивості сировини (вміст олії, вологість, засміченість, дисперсність, сорт, тип – насіння соняшнику, сої, ріпаку, бавовнику тощо), індивідуальні особливості обладнання, умови експлуатації. Зміни зазначених вище параметрів призводять до зміни коефіцієнтів  $A_i, B_i$ .

Наприклад, збільшення вологості сировини призводить до зменшення тертя, а отже, до зниження потужності внутрішнього тепловиділення  $Q$ , що, зі свого боку, змінює коефіцієнти  $B_i$  і т. д. У загальному випадку зміна будь-якого фізичного параметра (див. рис. 1.2), розглянутого в розділі 1, призводить до зміни коефіцієнтів  $A_i, B_i$ .

З моделі 2 можливо визначити модель спостерігача, яка відображає функціональну залежність:

$$h = f(T_2, T_3, T_5, Q_1, Q_2, A_i, B_i) \quad (3)$$

де  $\eta$  – кількість корисного продукту.

Модель спостерігача з рівняння 2 можна отримати у вигляді:

$$\eta = 1 - \frac{A_5}{\ln\left(\frac{T_3 + \frac{A_4}{\beta_1} + B_4}{T_5 - Q_2 B_5}\right)} \quad (4)$$

де  $\beta_1$  визначається як:

$$\beta_1 = \frac{A_3}{\ln\left(\frac{T_2}{T_3 - Q_1 B_3}\right)} \quad (5)$$

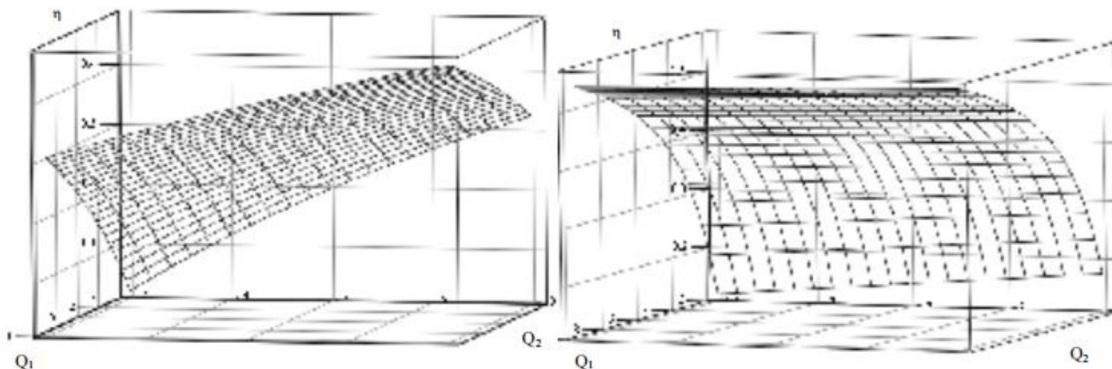


Рис. 1. Графічне зображення залежності  $\eta = f(Q_1, Q_2)$  за різних значень  $A_i, B_i$  отриманих за результатами моделювання на ПК

Моделювання процесів у прес-екструдерах олійних культур. На рисунку наведено приклад графічних зображень, що демонструють залежність  $\eta = f(Q_1, Q_2)$  за різних значень  $A_i, B_i$ , отриманих за результатами моделювання на ПК.

Отримані зображення вказують на їх тотожність зображенням, наведеним у [6], що дає змогу застосовувати аналогічний апарат (адаптивну систему керування) для досягнення максимального обсягу корисного продукту прес-екструдерами олійних культур.

*Висновки.* Проведені дослідження продемонстрували, що за допомогою підбору керуючих впливів  $Q_1, Q_2$  можна досягти максимального значення  $\eta$  а різних значень  $A_i, B_i$ . Варіювання  $Q_1, Q_2$  на практиці досягається шляхом звуження або розширення вихідних отворів зєрних зон за допомогою відповідного приводу. При цьому сталості часу такого регулювання будуть на порядок меншими, ніж у системі, описаній у [6].

*Перспективи подальших досліджень.* На підставі результатів проведених досліджень можлива розробка алгоритму функціонування адаптивної системи керування прес-екструдерами олійних культур. Цей алгоритм здатний забезпечити досягнення максимального виходу рослинної олії з досліджуваного агрегату залежно від поточних параметрів сировини й умов навколишнього середовища.

#### Список використаних джерел

1. Дацишин О. В., Ткачук А. І., Ялпачик Ф. Ю. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв : навчальний посібник. Вінниця : Нова Книга, 2008. 488 с.
2. Кропачек О. Ю. Теоретичні та практичні засади систем контролю та діагностування складних промислових об'єктів : монографія / П. Ф. Щапов, Р. П. Мигущенко, О. Ю. Кропачек. Харків : НТУ «ХП», 2015. 260 с.
3. Дідур В. В., Журавель Д. П., Шокарев О. М., Вюник О. В., Комар А. С. Аналіз технологій отримання олії з олійних культур. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*: електронне наукове фахове видання. Запоріжжя : ТДАТУ, 2022. Вип. 12, том 3. С. 180–189. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-3-17. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/16597>
4. Didur V., Tkachenko V., Tkachenko A., Didur V., Vereshchaga A. Rheology of the pulp of castor-oil seeds and its effect on the process of pressing. *ADVANCES OF SCIENCE: Proceedings of articles the international scientific conference. Karlovy Vary, Kyiv : MCNIP, 2018. P. 609–618.*
5. Мігущенко Р. П., Кропачек О. Ю. Розробка та дослідження математичних моделей багатозонних прохідних агрегатів. *Автоматизовані системи керування та прилади автоматики*. 2005. Вип. 131. С. 78–82.
6. Мігущенко Р. П. Адаптивна система керування багатозонними прохідними технологічними агрегатами : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07. Харків, 2011. 187 с.
7. Кропачек О. Ю. Елементи цифрової електроніки в електротехнічних пристроях : навч. посіб. / Р. П. Мигущенко, О. Ю. Кропачек. Харків : НТУ «ХП», 2013. 256 с.
8. Кропачек О. Ю. Алгоритм функціонування координатора системи управління прес-екструдера олійних культур / Р. П. Мігущенко, О. Ю. Кропачек, О. В. Маслова. *Вісник НТУ «ХП»*. Харків : НТУ «ХП», 2009. № 23. С. 104–107.
9. AVL-PASSION AND RESULTS [Електронний ресурс]. Legal Information Imprint 2013. URL: <http://www.avl.com/>
10. Montgomery D. C. *Introduction to Statistical Quality Control*. New York : John Wiley & Sons, 2010. 796 p.
11. Bress T. *Effective LabVIEW Programming*. NTS Press, 2013. 720 p.
12. Hinich M. J. A statistical theory of signal coherence. *IEEE J. Oceanic Engineering*. Apr. 2000. Vol. 25, No. 2. P. 256–261.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2025

Стаття прийнята 12.11.2025

Статтю опубліковано 22.12.2025





V. Didur<sup>1</sup>, J. Bilokin<sup>2</sup>, O. Viunyk<sup>3</sup>, H. Dashyvets<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Uman National University

<sup>2</sup> Poltava State Agrarian University

<sup>3</sup> Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

## THERMOPHYSICAL MODEL OF THE PRESS-EXTRUSION PROCESS OF OIL CROPS

### *Summary*

Oilseed press extruders, designed to squeeze oil-containing raw materials and obtain a useful product in the form of vegetable oils, are prominent representatives of the class of multi-zone continuous-flow units. Obtaining the maximum possible amount of vegetable oil at the output is a priority technical and economic task for these units.

The article presents the results of the analysis of recent studies on solving the problem of increasing the amount of vegetable oil in press extruders. The disadvantages of using an adaptive control system are indicated. The results of the analysis of the thermophysical model of a five-zone press extruder for oilseed crops are presented, and the control perturbations of the adaptive control system are determined to achieve the maximum possible amount of useful product – vegetable oil – by this unit. A graphical representation of the dependence of the amount of useful product on the power of internal heat release is presented at different values of coefficients reflecting the properties of the raw material (oil content, humidity, contamination, dispersion, variety, type (sunflower seeds, soybeans, rapeseed, cotton, etc.), individual characteristics of the equipment and operating conditions. The conducted studies have shown that by selecting the control influences, it is possible to achieve the maximum value at different values. Variation in practice is achieved by narrowing or widening the outlet openings of the seer zones using an appropriate drive. A theoretical basis for the development of an algorithm for the functioning of the control system of the mentioned unit is prepared, and prospects for further research are outlined.

**Keywords:** press extruder, oil crops, thermophysical model, adaptive control system, control disturbances, vegetable oil, optimization, multi-zone unit, control algorithm, mathematical modeling.