

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2026-26-1-10>

УДК 664.36:621.926

В. В. Дідур¹, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0001-7584-5073

Д. П. Журавель², д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-6100-895X

Я. В. Білоконь³, аспірант

ORCID: 0009-0003-4510-2780

¹ Уманський національний університет² Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного³ Полтавський державний аграрний університет

e-mail: didur.vv@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ НАСІННЯ РИЦИНИ В ШНЕКОВИХ ПРЕСАХ

Анотація. У статті запропоновано математичну модель процесу відтиску олії в шнековому пресі, побудовану на основі методів розмірного аналізу. Адекватність розробленої моделі підтверджено експериментальними результатами, отриманими під час пресування насіння рицини в шнековому пресі з використанням методів регресійного аналізу. Запропонована модель дає змогу описати витрату отриманої олії з урахуванням таких основних параметрів: швидкості подачі матеріалу, вологості сировини, ступеня лущення, температури в пресувальній камері, частоти обертання шнека, діаметра сопла для вивантаження макухи й тиску в зоні пресування.

Ключові слова: рослинна олія, насіння рицини, шнековий прес, швидкість подачі, математична модель, регресійний аналіз.

Постановка проблеми. Олійна промисловість належить до ключових галузей світової економіки, оскільки рослинні олії широко використовуються в харчовій, хімічній, фармацевтичній та інших сферах. У зв'язку з цим процес одержання рослинної олії з насіння олійної сировини має важливе промислове значення. Серед основних способів вилучення олії найбільш поширеними є механічне пресування й екстракція із застосуванням розчинників, при цьому механічний метод вирізняється низкою суттєвих переваг. Це зумовило привернути увагу дослідників до процесу пресування, зокрема до аналізу чинників, які визначають його ефективність, що оцінюється, серед іншого, виходом олії з олійної сировини. Вітчизняна промисловість спеціалізується на виробництві як харчових, так і технічних олій [1]. Приблизно дві третини загального обсягу становлять харчові олії, які безпосередньо споживаються або використовуються у виготовленні маргарину, майонезу, хлібобулочних і кондитерських виробів, кулінарних жирів, консервованої продукції тощо. Інша третина припадає на технічні олії, що знаходять застосування у виробництві мийних засобів, лакофарбових матеріалів, гліцерину, жирних кислот, фармацевтичних і косметичних засобів.

Аналіз останніх досліджень. Основною сировинною базою рослинно-олійної промисловості є олійне насіння, яке відіграє важливу роль у сучасному сільському господарстві. Асортимент олійної сировини є досить широким: у рослинництві відомо понад 100 олійних культур, однак лише близько 40 з них доцільно використовувати для одержання олії. Решта культур є економічно не вигідними через низький уміст олії в насінні або складність технології її вилучення. До найбільш значущих олійних рослин належать соняшник, соя, ріпак, бавовник, мак, мигдаль, кунжут, горіх, олійна пальма, кокос, олива, льон і рицина [2–4].

Для вилучення олії з насіння олійної сировини застосовують два основні технологічні способи – механічний відтиск та екстракцію. Відтиск являє собою процес механічного відділення рідини з маси, що містить тверді частинки, тоді як екстракція полягає у відокремленні рідкої



фази із системи «тверда речовина – рідина» [5–7]. Механічне пресування зазвичай здійснюється за допомогою гідравлічних або шнекових пресів. Гідравлічні преси належать до обладнання періодичної дії, тоді як шнекові преси працюють у безперервному режимі [8–10].

Механічне віджимання олії з насіння за допомогою шнекового преса вважається одним із найдавніших і найпоширеніших способів її виробництва у світі. Популярність механічних олійних експелерів зумовлена низкою переваг: простою та надійною конструкцією обладнання, легкістю обслуговування й експлуатації навіть персоналом з невисокою кваліфікацією, можливістю швидкої адаптації до переробки різних видів олійного насіння, а також безперервністю процесу з отриманням готового продукту вже через кілька хвилин після початку роботи [9–11]. Додатковою перевагою є одержання макухи з високим вмістом білка без застосування хімічних реагентів, на відміну від екстракційного методу з використанням розчинників [12].

Разом із тим механічне шнекове пресування має певний недолік, оскільки з насіння вдається вилучити лише близько 86–92 % наявної олії [13–18]. Ефективність цього процесу, яка оцінюється за виходом олії з конкретної олійної культури, значною мірою залежить від способу підготовки сировини, що включає комплекс послідовних технологічних операцій [19–21], а також від робочих параметрів і конструктивних особливостей пресувального обладнання [22].

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою статті є розробка математичної моделі процесу вилучення олії в шнековому пресі з використанням методів розмірного аналізу.

Основна частина. У ході вивчення процесу пресування олійної сировини для його математичного опису використано теорію розмірного аналізу, яка дає змогу прогнозувати витрату олії, що виділяється з олійного матеріалу під час роботи механічних шнекових пресів. У межах цього підходу застосовано π -теорему, сформульовану Букінгемом [14; 15].

На основі узагальнення теоретичних положень і результатів експериментальних досліджень процесу пресування олійних матеріалів у механічних шнекових пресах у роботі виділено сім основних параметрів, що істотно впливають на перебіг процесу. До них належать масова витрата подачі матеріалу Q_a (кг/с), вологість матеріалу u (%), ступінь лущення q_c (%), температура в пресувальній камері θ (°C), частота обертання шнека n (с⁻¹), зазор між вихідними конусом та отвором для вивантаження макухи d (м) і тиск у пресувальній камері p (Па). Показником результативності процесу пресування прийнято витрату отриманої олії Q_u (кг/с) [4].

Базова функціональна залежність, яка узагальнено описує процес пресування та є розмірно однорідною відносно основних одиниць міжнародної системи СІ (L, M, T), має вигляд:

$$f = (Q_u, Q_a, p, d, n, u, q_c, \theta) = 0. \quad (1)$$

Обираючи як базові (визначальні) величини систему (Q_a, p, n) , відповідно до π -теорему Букінгема, можна сформулювати безрозмірні комплекси, або критерії подібності, які характеризують процес пресування.

Безрозмірні параметри u , q_c та θ вводяться до критеріального рівняння безпосередньо, без урахування їх під час побудови безрозмірних груп. Для фізичних величин витрати отриманої олії Q_u та діаметра вихідного отвору d в межах розмірного аналізу формується відповідний безрозмірний комплекс, що використовується для подальшого опису процесу пресування.

$$\pi_1 = \frac{Q_u}{Q_a^{x_1} p^{x_2} n^{x_3}} \quad \text{та} \quad \pi_2 = \frac{d}{Q_a^{x'_1} p^{x'_2} n^{x'_3}}. \quad (2)$$

Показники степеня x_1, x_2, x_3 та x'_1, x'_2, x'_3 визначають із вимоги, щоб комплекси π_1, π_2 були безрозмірними щодо базових (фундаментальних) одиниць L (довжина), M (маса) і T (час). Тобто під час складання кожного критерію підбирають такі степені величин, щоб сумарні розмірності за L, M та T взаємно компенсувалися й у підсумку давали нульові показники.



Нижче подано розмірну матрицю п'яти величин у координатах фундаментальних одиниць L , M і T :

	x_1	x_2	x_3		
	Q_a	p	n	Q_u	d
L	0	-1	0	0	1
M	1	1	0	1	0
T	-1	-2	-1	-1	0

Задавши умову, що комплекс π_1 безрозмірним щодо трьох фундаментальних одиниць L , M і T , і використавши наведені вище розмірності величин, отримуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь для визначення показників степенів. Іншими словами, для кожної з фундаментальних одиниць складаємо рівняння балансу показників розмірностей, у результаті формується відповідна система лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} -x_2 = 0 \\ x_1 + x_2 = 1 \\ -x_1 - 2x_2 - x_3 = -1 \end{cases} \quad (3)$$

Після розв'язання отриманої системи лінійних рівнянь визначено значення показників степеня: $x_1 = 1$, $x_2 = 0$ та $x_3 = 0$. За таких умов відповідний безрозмірний комплекс π_1 набуває такого вигляду:

$$\pi_1 = \frac{Q_u}{Q_a^1 \cdot p^0 \cdot n^0} = \frac{Q_u}{Q_a}. \quad (4)$$

Аналогічним чином застосували ту саму методику, задали умову безрозмірності комплексу π_2 щодо трьох фундаментальних величин L , M і T . На підставі відповідних розмірностей величин, наведених у розмірній матриці, для цього випадку сформовано систему лінійних рівнянь, яка використовується для визначення показників степенів:

$$\begin{cases} -x_2 = 1 \\ x_1 + x_2 = 0 \\ -x_1 - 2x_2 - x_3 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

У результаті розв'язання відповідної системи лінійних рівнянь отримано такі значення показників степеня: $x'_1 = 1$, $x'_2 = -1$ та $x'_3 = 1$. За цих умов безрозмірний комплексний вираз π_2 набуває такого вигляду:

$$\pi_2 = \frac{d}{Q_a^1 \cdot p^{-1} \cdot n^1} = \frac{d \cdot p}{Q_a \cdot n}. \quad (6)$$

З урахуванням отриманих безрозмірних комплексів відповідне критеріальне рівняння для процесу пресування записано в неявному вигляді, тобто у формі узагальненої функціональної залежності між критеріями подібності:

$$\Phi\left(\frac{Q_u}{Q_a}, \frac{dp}{Q_a n}, u, q_c, \theta\right) = 0. \quad (7)$$

З метою отримання рівняння, що описує витрату отриманої олії під час пресування в шнековому пресі, з критеріального рівняння виокремлено член, який містить Q_u . У результаті відповідну залежність для потоку отриманої олії приведено до такого вигляду:

$$\frac{Q_u}{Q_a} = \varphi_1 \left(\frac{dp}{Q_a n}, u, q_c, \theta \right); \quad (8)$$

$$Q_u = Q_a \cdot \varphi_1 \left(\frac{dp}{Q_a n}, u, q_c, \theta \right). \quad (9)$$

У першому наближенні для опису досліджуваного процесу запропоновано математичну модель у вигляді добутку степеневих функцій інших безрозмірних параметрів. Такий підхід дає змогу подати шукану залежність у компактній аналітичній формі та спростити подальший аналіз впливу окремих факторів на інтенсивність вилучення олії, а саме:

$$Q_u = k^* \cdot Q_a \cdot \left(\frac{dp}{Q_a \cdot n} \right)^{a_1} \cdot u^{a_2} \cdot q_c^{a_3} \cdot \theta^{a_4}, \quad (10)$$

де k^* , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 – сталі коефіцієнти й відповідні показники степеня, значення яких визначено методом лінійної регресії за результатами експериментальних досліджень. За умови, що за певних режимів роботи вплив трьох останніх факторів можна вважати незначним, відповідний вираз доцільно подати в спрощеному вигляді:

$$Q_u = k \cdot Q_a \cdot \left(\frac{dp}{Q_a \cdot n} \right)^{a_1} = k \cdot \frac{Q_a}{Q_a^{a_1}} \cdot \left(\frac{dp}{n} \right)^{a_1} = k \cdot Q_a^{1-a_1} \cdot \left(\frac{dp}{n} \right)^{a_1}; \quad (11)$$

$$Q_u = k \cdot Q_a^{1-a_1} \cdot \left(\frac{dp}{n} \right)^{a_1}. \quad (12)$$

Для $\frac{dp}{n} = \text{const}$ та $Q_a \neq \text{const}$

$$Q_u^* = k_1 \cdot Q_a^{*(1-a_1)} \cdot \left(\frac{dp}{n} \right)^{a_1}. \quad (13)$$

Зробивши позначення $\frac{dp}{n} = A(\text{const})$, співвідношення стає таким:

$$Q_u^* = k_1 \cdot Q_a^{*(1-a_1)} \cdot A^{a_1} = (k_1 \cdot A^{a_1}) \cdot Q_a^{*(1-a_1)}. \quad (14)$$

Далі, увівши узагальнене позначення $k_1 \cdot A^{a_1} = A^*$, остаточний вираз можна подати в спрощеному й більш компактному вигляді:

$$Q_u^* = A^* \cdot Q_a^{*(1-a_1)}. \quad (15)$$

За умови, що подача матеріалу $Q_a = \text{const}$, а добуток параметрів $d \cdot p/n \neq \text{const}$, отриманий вираз для витрати отриманої олії набуває такого вигляду:

$$Q_u^{**} = k_2 \cdot Q_a^{(1-a_1')} \cdot \left(\frac{dp}{n} \right)^{a_1'}; \quad (16)$$

$$Q_u = a \cdot Q_a^{(1-b)} \cdot d^b \cdot \left(\frac{p}{n} \right)^b, \quad (17)$$

де $\left(\frac{p}{n} \right)^b = \text{const}$.

У роботі [8] експериментальні дослідження виконувалися із застосуванням шнекового прес-екструдера ПЕ-150 з частотою обертання 1,453 об/с. Під час експериментів використовували

різні значення зазорів між вихідними конусом та отвором для вивантаження макухи, що змінювалися в межах від 8 до 10 мм.

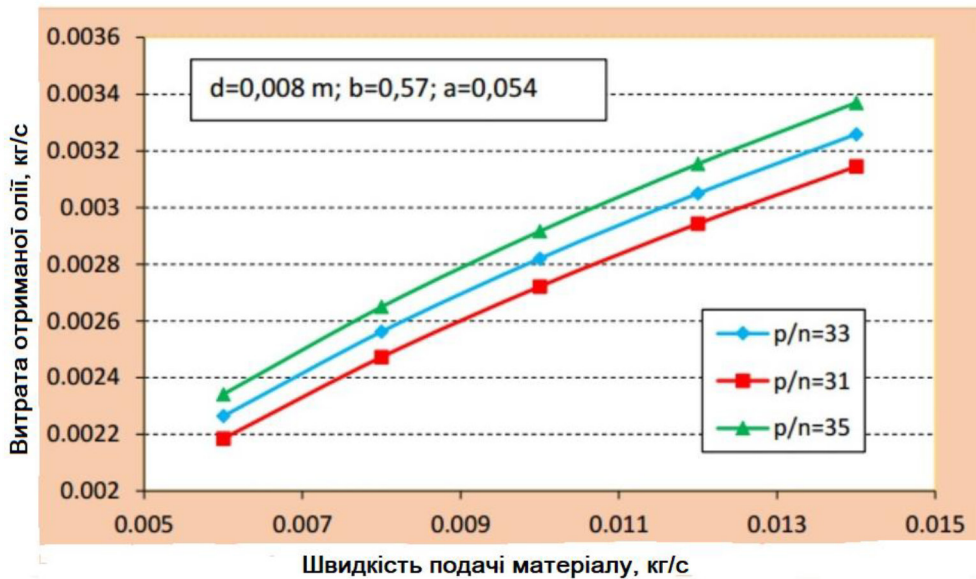


Рис. 1. Залежність витрати отриманої олії від швидкості подачі матеріалу при зазорі між вихідними конусом та отвором 8 мм [8]

У ході аналізу встановлено, що за наведених умов тиск у пресувальній камері перебуває в межах 46–48,5 МПа, тоді як витрата матеріалу становить близько 0,01 кг/с. За умови, що сталі коефіцієнти функції (17) дорівнюють $a = 0,054$ та $b = 0,57$ (відповідно до результатів регресійного аналізу експериментальних даних) [8], а відношення p/n змінюється в діапазоні 31–33 МПа, для значень Q_a у межах 0,006–0,014 кг/с і діаметра сопла 8 мм отримуємо криві залежності витрати отриманої олії від прикладеного тиску, які наведено на рис. 1 [8].

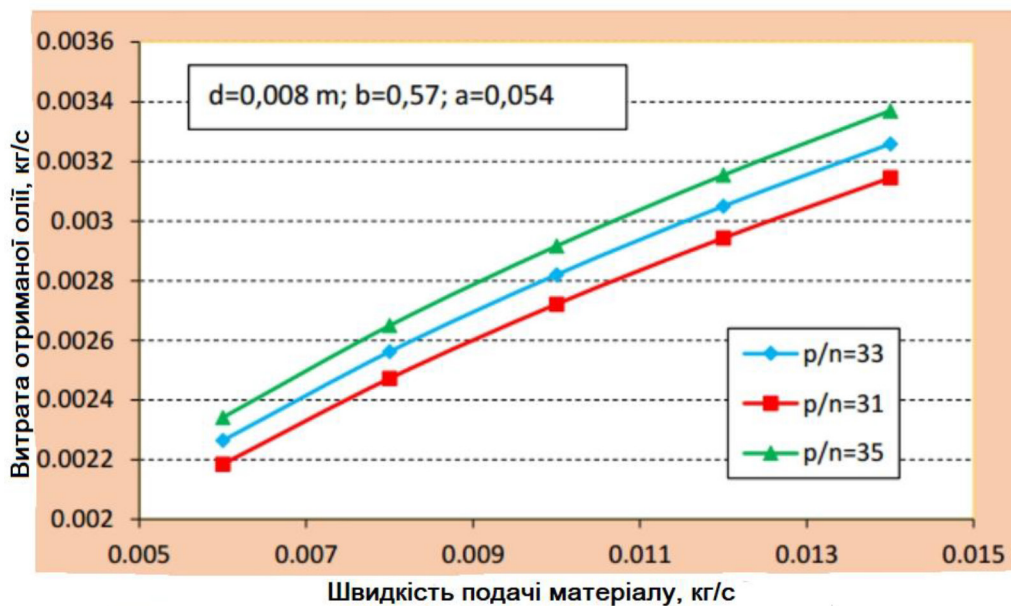


Рис. 2. Залежність витрати отриманої олії від швидкості подачі матеріалу при зазорі між вихідними конусом та отвором 10 мм [8]



Коли $a = 0,046$ та $b = 0,55$ [8], за тих самих значень прикладеного тиску (31–33 МПа) й однакових швидкостей подачі матеріалу, але при зазорі між вихідними конусом та отвором 10 мм характер зміни витрати отриманої олії залежно від тиску відповідає кривим, які показані на рисунку 2 [8].

Висновки. Отже, на основі викладеного можемо резюмувати таке:

1. Виробництво рослинної олії посідає провідне місце серед галузей світової промисловості, що зумовлено широким спектром використання рослинних олій у різних сферах господарської діяльності. Саме тому процес пресування олійної сировини є об'єктом поглиблених наукових досліджень, зокрема в частині визначення чинників, які впливають на ефективність роботи пресового обладнання. Основним показником такої ефективності є кількість олії, вилученої з олійного насіння.

2. Продуктивність механічного шнекового преса, яка оцінюється ступенем вилучення олії з конкретного виду олійної сировини, значною мірою визначається способом її підготовки. Підготовка включає комплекс окремих технологічних операцій, а також залежить від режимних і конструктивних параметрів пресувальної машини.

3. Запропонована модель процесу, яку розроблено на основі π -теорему розмірного аналізу, дає змогу описати витрату отриманої олії з урахуванням таких основних параметрів: швидкості подачі матеріалу, вологості сировини, ступеня лущення, температури в пресувальній камері, частоти обертання шнека, зазору між вихідними конусом та отвором для вивантаження макухи й тиску в зоні пресування.

4. Аналіз графічних залежностей, отриманих за результатами математичного моделювання та регресійної обробки експериментальних даних, показує, що потік отриманої олії зростає зі збільшенням швидкості подачі матеріалу в інтервалі 0,006–0,014 кг/с. Підвищення співвідношення p/n також сприяє зростанню витрати олії. Крім того, встановлено, що застосування зазору між вихідними конусом та отвором меншого розміру забезпечує більш інтенсивне вилучення олії з олійної сировини.

Список використаних джерел

1. Чумак О. П. Процеси та апарати харчових виробництв. Київ : Центр учбової літератури, 2018. 476 с.
2. Кіпніс Л. С. Обладнання підприємств олійно-жирової галузі. Київ : НУХТ, 2015. 338 с.
3. Національний університет харчових технологій. Технологічне обладнання олійно-жирових виробництв : навч. посіб. Київ : НУХТ, 2019. 420 с.
4. Gunstone F. D. Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses. 2nd ed. Oxford : Wiley-Blackwell, 2011. 376 p.
5. Fellows P. Food Processing Technology: Principles and Practice. 4th ed. Cambridge : Woodhead Publishing, 2017. 1152 p.
6. Singh R. P., Heldman D. R. Introduction to Food Engineering. 5th ed. Academic Press, 2014. 864 p.
7. Geankoplis C. J. Transport Processes and Separation Process Principles. 4th ed. New Jersey : Prentice Hall, 2003. 1026 p.
8. Bird R. B., Stewart W. E., Lightfoot E. N. Transport Phenomena. 2nd ed. Wiley, 2002. 895 p.
9. McCabe W. L., Smith J. C., Harriott P. Unit Operations of Chemical Engineering. 7th ed. McGraw-Hill, 2005. 1140 p.
10. Buckingham E. On physically similar systems; illustrations of the use of dimensional equations. *Physical Review*. 1914. Vol. 4, № 4. P. 345–376.
11. Barghale P. C., Ford R. J., Sosulski F.W. Mechanical oil expression from oilseeds: A review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1999. Vol. 76. P. 1033–1041.
12. Savoie R., Lanoisellé J. L., Vorobiev E. Mechanical continuous oil expression from oilseeds: A review. *Food and Bioprocess Technology*. 2013. Vol. 6. P. 1–16.
13. Adeeko K. A., Ajibola O. O. Processing factors affecting yield and quality of mechanically expressed groundnut oil. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1990. Vol. 45. P. 31–43.



14. Khan L. M. Screw pressing of oilseeds: Modeling and optimization. *Journal of Food Process Engineering*. 2010. Vol. 33. P. 1–17.
15. Rosenthal A., Pyle D. L., Niranjana K. Aqueous and enzymatic processes for edible oil extraction. *Enzyme and Microbial Technology*. 1996. Vol. 19. P. 402–420.
16. Журавель Д. П., Бондар А. М. Обґрунтування технологій отримання рицинової олії. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі* : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції / ТДАТУ, м. Запоріжжя, 01–25 листопада 2022 р. Запоріжжя, 2022. С. 77–79.
17. Шокарев О. М., В'юник О. В., Комар А. С. Аналіз технологій отримання олії з олійних культур. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету* : електронне наукове фахове видання. Мелітополь : ТДАТУ, 2022. Вип. 12, Том 3. 10 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-3-18
18. Журавель Д. П., Дідур В. В. Механіко-технологічні основи глибокої переробки насіння рицини на енергетичну біосировину : монографія. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. 275 с. ; іл.
19. Дідур В. В., Журавель Д. П., Повар І. Ю., Петриченко Є. А. Теоретичні основи розрахунку конструкційно-технологічних параметрів конічної центрифуги для очищення рослинних олій. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету* : наукове фахове видання. ТДАТУ, 2025. Вип. 25, Т. 3. С. 118–124. DOI: <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-3-16>. <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/pratsi/issue/view/65/164>
20. Дідур В. В., Журавель Д. П., Повар І. Ю., Петриченко Є. А. Наукові основи очищення рослинних олій у конічних центрифугах. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету* : наукове фахове видання. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. Вип. 25, Т. 3. С. 125–130. DOI: <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-3-17>
21. Дідур В. В., Журавель Д. П., Колесніченко І. А., Петриченко Є. А. Моделювання теплової обробки насіння олійних культур високотемпературним теплоносієм. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету* : наукове фахове видання / ТДАТУ ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. Вип. 15, Т. 2. С. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-2-5>
22. Дідур В. В., Журавель Д. П., Колесніченко І. А., Петриченко Є. А. Моделювання тепломасоперенесення в поверхневих капілярно-пористих середовищах. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі* : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції (01–25 листопада 2025 року). Запоріжжя, 2025. С. 46–49.

Дата першого надходження статті до видання: 25.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



V. Didur¹, D. Zhuravel², Ya. Bilokin³

¹ Uman National University

² Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

³ Poltava State Agrarian University

MODELING OF THE PROCESS OF PRESSING CASTOR SEEDS IN SCREW PRESSES

Summary

The article proposes a mathematical model of the oil extraction process in a screw press, built on the basis of dimensional analysis methods. The adequacy of the developed model is confirmed by experimental results obtained during the pressing of castor seeds in a screw press, using regression analysis methods. The proposed model allows describing the consumption of the obtained oil taking into account the following main parameters: material feed rate, raw material moisture, degree of peeling, temperature in the pressing chamber, screw rotation frequency, diameter of the nozzle for unloading the cake and pressure in the pressing zone. Vegetable oil production occupies a leading place among the branches of world industry, which is due to the wide range of uses of vegetable oils in various



spheres of economic activity. That is why the process of pressing oilseeds is the object of in-depth scientific research, in particular in terms of determining the factors that affect the efficiency of the press equipment. The main indicator of such efficiency is the amount of oil extracted from oilseeds. The productivity of a mechanical screw press, which is estimated by the degree of oil extraction from a particular type of oilseed, is largely determined by the method of its preparation. Preparation includes a set of separate technological operations, and also depends on the operating and design parameters of the pressing machine. In this work, a mathematical model of the process was developed based on the π -theorem of dimensional analysis. The proposed model allows describing the flow rate of the obtained oil taking into account the following main parameters: material feed rate, raw material moisture, degree of peeling, temperature in the pressing chamber, screw rotation frequency, diameter of the nozzle for unloading the cake and pressure in the pressing zone. Analysis of the graphical dependencies obtained from the results of mathematical modeling and regression processing of experimental data shows that the flow rate of the obtained oil increases with increasing material feed rate in the range of 0.006–0.014 kg/s. Increasing the p/n ratio also contributes to an increase in oil flow rate. In addition, it was found that the use of a nozzle of a smaller diameter ensures more intensive extraction of oil from oil raw materials.

Keywords: vegetable oil, castor seeds, screw press, feed rate, mathematical model, regression analysis.