

АНОТАЦІЯ

Верещага О. Л. **Обґрунтування технологічних режимів і конструктивних параметрів шнекових пресів для віджиму олії із насіння рицини.** Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 – галузеве машинобудування. – Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, 2021.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності технологічного процесу віджимання олії із насіння рицини за рахунок обґрунтування технологічних режимів і конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса.

Олійні культури мають вагоме значення у народному господарстві, тому що вважаються джерелом отримання цінних продовольчих і технічних товарів. Між олійних культур вагомий простір на півдні України займає рицина, провідним продуктом переробки якої вважається рицинова олія, яка складає 50-55%. Специфічність рицинової олії обумовлена тим, що 81-96% від її складу складають гліцериди рицинолевої кислоти, яка є оксикислотою. Жирні кислоти такого типу не зустрічаються в оліях інших рослин. Завдяки таким властивостям рицинова олія є унікальною за своїм складом та використовується у військовій, хімічній, машинобудівній, радіоелектронній, поліграфічній, лакофарбовій, медичній, косметичній і інших галузях промисловості, що робить її важливою стратегічною сировиною.

Якість і кількість рицинової олії при переробці рицини в значній мірі залежить від прийнятої технології. Одним із основних технологічних процесів при переробці насіння рицини на рицинову олію є процес її віджимання у шнекових пресах. У поєднанні із технологічними параметрами процесу при віджиманні олії у таких пресах збільшується тиск на матеріал, що пресується за рахунок зміни окремих конструктивних параметрів

пресувальних витків за довжиною шнекового валу, в результаті чого відбувається скорочення зовнішньої поверхні мезги і витікання олії.

Існуючі конструкції шнекових пресів, що випускаються сучасною промисловістю, при віджиманні мезги не враховують особливі технологічні властивості насіння рицини, які сильно відрізняються від інших олійних культур і, таким чином, не в змозі задовольнити вимогам виробництва. А саме, забезпечити продуктивність процесу віджимання рицинової олії та необхідну кількість і якість кінцевого продукту. Відповідно, макуха, що залишається після пресування, має велику олійність. Це потребує упровадження подальших технологічних операцій щодо зниження олійності макухи, які, в свою чергу, збільшують собівартість кінцевого продукту.

Такий стан речей створює *народногосподарську задачу*, суть якої полягає в неякісному виконанні технологічної операції пресування мезги насіння рицини та, відповідно, низькій техніко-економічній ефективності.

Виникає досить актуальна *науково-технічна задача* щодо підвищення ефективності віджимання рицинової олії шляхом визначення технологічних режимів та оптимальних конструктивно-технологічних параметрів шнекових пресів, за допомогою яких можна забезпечити збільшення виходу рицинової олії у порівнянні з існуючими пресами.

У першому розділі дисертаційної роботи встановлені основні фізико-механічні властивості насіння рицини та реологічні властивості мезги насіння рицини. Окрім цього узагальнені вимоги, яким повинна відповідати мезга насіння рицини перед пресуванням на кожній попередній технологічній операції: щодо якості обрушення і розділення рушанки рицини, якості подрібнення рушанки у м'ятку та параметрів волого-теплової обробки м'ятки рицини у мезгу. Проведено аналіз способів отримання олійних матеріалів та відповідних конструкцій машин, на підставі якого встановлено, що ефективним способом є пресування, а ефективними пресами є шнекові з одним пресувальним шнековим валом. Основною рушійною силою процесу віджимання є тиск у пресі, що розвивається з першого по останній

пресувальний виток шнекових пресів. Конструктивно-технологічними параметрами всіх конструкцій шнекових пресів, які впливають на якість процесу віджимання у шнекових пресах є: вільний об'єм між пресувальними витками, зазор між пластинами зерної планки та температура пресування.

Другий розділ був присвячений теоретичним дослідженням процесу пресування мезги насіння рицини у шнекових пресах. У ході досліджень побудовані математичні моделі тиску в каналі, балансу тепла та фільтрації олії при пресуванні мезги насіння рицини. Встановлено, що достатня кількість пресувальних витків шнекового пресу складає вісім витків, а відносна концентрація олії досягає максимального значення $C_{\phi}/C_0 = 1$. При цьому, тиск мезги, що створюється на першому пресувальному витку, повинен складати $P = 0,063$ мПа. За такого значення тиску відносна концентрація олії буде складати $C_{\phi}/C_0 = 0,135$; на другому – $P = 0,32$ мПа, $C_{\phi}/C_0 = 0,439$; на третьому – $P = 1,28$ мПа, $C_{\phi}/C_0 = 0,65$; на четвертому – $P = 3,32$ мПа, $C_{\phi}/C_0 = 0,803$; на п'ятому – $P = 5,19$ мПа, $C_{\phi}/C_0 = 0,861$; на шостому – $P = 8,59$ мПа, $C_{\phi}/C_0 = 0,914$; на сьомому – $P = 11,18$ мПа, $C_{\phi}/C_0 = 0,942$; на восьмому – $P = 14$ мПа, $C_{\phi}/C_0 = 1$.

У третьому розділі розроблені програма, методика експериментальних досліджень та експериментальна установка для проведення досліджень, обґрунтовано застосування необхідних вимірювальних приладів. Для контролювання тиску, що розвивається в експериментальному пресі, обґрунтовано експериментальний метод із застосуванням тензометрування.

Встановлені критерії ефективності при віджиманні мезги насіння рицини, за допомогою яких можна встановити якість кінцевого продукту при експериментальних дослідженнях. Показниками ефективності при дослідженнях встановлено відносну масу олії та відносну масу фузи.

Для проведення досліджень встановлено межі регулювання елементів пресу і технологічних параметрів

У четвертому розділі проведено оптимізацію із визначенням моделі другого порядку найбільш впливових конструктивно-технологічних

параметрів шнекового пресу (ступінь стиснення, температури мезги, що пресується та зазору у зерних пластинах) кожного пресувального витку: на першому пресувальному витку ступінь стиснення складає 1,42; на другому – 1,79; на третьому – 2,09; на четвертому – 4,67; на п'ятому – 5,35; на шостому – 6,21; на сьомому – 7,29; на восьмому – 9,29. Температура мезги у пресі повинна складати 105 °С, а зазор між зерними пластинах з першого по четвертий пресувальний виток – 1,5 мм, з п'ятого по восьмий – 1 мм.

Проведені дослідження дозволили вивчити фільтраційні параметри твердої фази мезги насіння рицини та встановити режими фільтрування олії через зерні пластини на кожному витку шнекового пресу. Найбільші зміни фільтраційних характеристик мезги насіння рицини відбуваються у діапазоні тиску від 0 до 1,85 мПа. При тиску від 1,85 до 13,5 мПа зміна фільтраційних характеристик уповільнюється, що пов'язано зі зміною структури мезги. Підвищення тиску мезги більше 13,5 мПа здійснювати непотрібно.

Визначено, що відносна концентрація відфільтрованої олії досягає максимального значення на восьмому пресувальному витку та складає 0,89. Результати динаміки відносної концентрації відфільтрованої олії під час пресування на відповідному пресувальному витку співпадають з результатами теоретичних досліджень з розбіжністю не більше 10%.

Визначено ефективність процесу пресування на відповідних пресувальних витках шнекового пресу: на першому пресувальному витку після пресування відносна маса олії складає 0,0812; із додаванням другого – 0,272; із додаванням третього – 0,368; із додаванням четвертого – 0,409; із додаванням п'ятого – 0,454; із додаванням шостого – 0,47; із додаванням сьомого – 0,489; із додаванням восьмого – 0,496. За максимальної олійності насіння рицини на рівні 55 відсотків встановлено, що завдяки оптимізації конструктивно-технологічних параметрів шнекових пресів показник олійності макухи рицини вдалося зменшити не менше, ніж на 3,1%.

Встановлено закон стиснення для шнекових пресів при пресуванні мезги насіння рицини, який дає змогу визначити оптимальну ступінь

стиснення відповідного пресувального витка. Такий закон надає можливість встановити потрібні вільні об'єми між відповідними пресувальними витками для різної продуктивності по насінню рицини із забезпеченням максимальної ефективності процесу.

Встановлено, що достатня кількість пресувальних витків у шнекових пресах для пресування насіння рицини складає 8. Відповідно, при застосуванні під час пресування такої кількості пресувальних витків, відносна маса олії складе $\mu = 0,496$.

Дисертаційна робота виконана у відповідності до плану науково-дослідної роботи на 2016–2020 рр. Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного «Наукові основи глибокої переробки насіння рицини на олію та високобілкові корми», номер держаної реєстрації 0116U004694. Вирішене питання є важливою складовою формування та реалізації «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року», яка схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України №1071 від 24.07.2013 згідно Закону України «Про альтернативні види палива №1391-XIV від 14.01.2000, наказом Міністерства фінансів України №631 від 04.07.2006р. «Про визначення пріоритетних напрямів енергозбереження», Постановою Кабінету Міністрів України №1774 від 22.12.2006р. «Програма розвитку біопалива».

Результати дисертаційної роботи (теоретичні та експериментальні) передані до ТОВ «СПП ЛАНА».

Річний економічний ефект від використання розробленого шнекового пресу для пресування мезги насіння рицини для продуктивності 0,22 т/год становить 458924,4 грн при строковій окупності 0,4 року.

Ключові слова: насіння рицини, мезга, рушанка, м'ятка, пресування, шнековий прес, зерний циліндр, шнековий вал, розгорнутий канал, пресувальний виток, відносна маса олії, ступінь стиснення, зерна пластина.

ANNOTATION

Vereshchaga O.L. **Substantiation of technological modes and design parameters of screw presses for oil extraction from castor seeds.** Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences (doctor of philosophy) on a speciality 133 - branch mechanical engineering. - Tavriya State Agrotechnological University named after Dmytro Motorny, Melitopol, 2021.

The dissertation work is devoted to increasing the efficiency of the technological process of extracting oil from castor seeds due to the substantiation of technological modes and constructive-technological parameters of the screw press.

Oilseeds are essential in the national economy because they are considered valuable food and technical goods. Among oilseeds, castor oil occupies a significant space in the south of Ukraine, the leading processing product of which is considered to be castor oil, which is 50-55%. The specificity of castor oil is because 81-96% of its composition are glycerides of ricinoleic acid, which is a hydroxy acid. Fatty acids of this type are not found in the oils of other plants. Due to such properties, castor oil is unique in its composition and is used in military, chemical, machine-building, radio-electronic, printing, paint, medical, cosmetics, and other industries, making it an important strategic raw material.

The quality and quantity of castor oil in castor oil processing largely depends on the adopted technology. One of the main technological processes in processing castor seeds into castor oil is the process of oil extraction in screw presses. In combination with the technological parameters of the process when squeezing oil in such presses increases the pressure on the material being pressed by changing specific design parameters of the pressing turns along the length of the

auger shaft, resulting in the reduction of the outer surface of the pulp and oil leakage.

Existing designs of screw presses produced by modern industry, when squeezing the pulp do not take into account the special technological properties of castor seeds, which are very different from other oilseeds and, thus, unable to meet production requirements, namely to ensure the productivity of castor oil extraction and the required quantity and quality of the final product. Accordingly, the cake remaining after pressing has a high oil content. This requires the introduction of further technological operations to reduce the oil content of the cake, which, in turn, increase the cost of the final product.

This state of affairs creates a national economic task, the essence of which is the poor performance of the technological operation of pressing the pulp of castor seeds and, accordingly, low technical and economic efficiency.

There is a fundamental scientific and technical problem to increase the efficiency of castor oil extraction by determining the technological modes and optimal design and technological parameters of screw presses, which can increase the yield of castor oil compared to existing presses.

The first section of the dissertation establishes castor seeds' main physical and mechanical properties and the rheological properties of castor seed pulp. In addition, the requirements that castor seed pulp must meet before pressing in each previous process were summarized: the quality of the castor bean collapse and separation, the quality of the beet grinding in the pulp and the parameters of wet heat treatment of castor bean pulp. The analysis of methods of obtaining oil materials and the corresponding designs of machines is carried out, based on which it is established that the effective method is pressing, and the effective presses are screwed with one pressing screw shaft. The main driving force of the spinning process is the pressure in the press, which develops from the first to the last pressing turn of screw presses. The design and technological parameters of all

designs of screw presses, which affect the quality of the spinning process in screw presses, are free volume between the pressing turns, the gap between the plates of the sieve bar and the pressing temperature.

The second section was devoted to the theoretical study of the process of pressing the pulp of castor seeds in screw presses. In the course of research, mathematical models of pressure in the channel, heat balance and oil filtration during pressing of castor seed pulp were built. It is established that a sufficient number of pressing turns of the screw press is eight turns, then the relative oil concentration reaches the maximum value $S_f/C_0 = 1$. In this case, the pulp pressure created on the first pressing turn should be $P = 0.063$ MPa, at this pressure value, the relative oil concentration will be $C_f/C_0 = 0.135$; on the other - $P = 0.32$ MPa, $S_f/C_0 = 0.439$; on the third - $P = 1.28$ MPa, $S_f/C_0 = 0.65$; on the fourth - $P = 3.32$ MPa, $S_f/C_0 = 0.803$; on the fifth - $P = 5.19$ MPa, $S_f/C_0 = 0.861$; on the sixth - $P = 8.59$ MPa, $S_f/C_0 = 0.914$; on the seventh - $P = 11.18$ MPa, $S_f/C_0 = 0.942$; on the eighth - $P = 14$ MPa, $S_f/C_0 = 1$.

In the third section of the program, a technique of experimental research and experimental installation for carrying out research are developed, and the application of necessary measuring devices is proved. An experimental method using a strain gauge is substantiated to control the pressure developing in the experimental press.

Criteria of efficiency at squeezing the pulp of castor seeds by means of which it is possible to establish the quality of a final product at experimental research are established. The relative weight of the oil and the relative weight of the fuse was determined by the efficiency indicators in the research.

To conduct research, the limits of regulation of press elements and technological parameters are set.

In the fourth section, the optimization is carried out with the definition of the second-order model of the most influential structural and technological parameters

of the screw press (compression ratio, compression temperature and gap in the gauge plates) of each pressing turn: on the first pressing turn the compression ratio is 1.42; on the other - 1.79; on the third - 2.09; on the fourth - 4.67; on the fifth - 5.35; on the sixth - 6.21; on the seventh - 7.29; on the eighth - 9.29. The temperature of the pulp in the press should be 105 °C, and the gap between the gap plates from the first to the fourth pressing turn - 1.5 mm, from the fifth to the eighth - 1 mm.

The conducted research allowed us to study the filtration parameters of the solid phase of castor seed pulp and establish the modes of oil filtration through the sieve plates at each turn of the screw press. The most significant changes in the filtration characteristics of castor seed pulp occur in the pressure range from 0 to 1.85 MPa. At pressures from 1.85 to 13.5 MPa, the change infiltration characteristics slow down due to changes in the structure of the pulp. It is not necessary to increase the pulp pressure by more than 13.5 MPa.

It is determined that the relative concentration of filtered oil reaches the maximum value on the eighth pressing turn and is 0.89. The dynamics of the relative concentration of the filtered oil during pressing on the corresponding pressing turn coincide with theoretical research results with a discrepancy of not more than 10%.

The efficiency of the pressing process on the corresponding pressing turns of the screw press is determined: on the first pressing turn after pressing, the relative weight of oil is 0,0812; with the addition of the second - 0.272; with the addition of the third - 0.368; with the addition of the fourth - 0.409; with the addition of the fifth - 0.454; with the addition of the sixth - 0.47; with the addition of the seventh - 0.489; with the addition of the eighth - 0.496. With the maximum oil content of castor seeds at the level of 55 percent, it was found that due to the optimization of design and technological parameters of screw presses, the oil content of castor oil was reduced by at least 3.1%.

The law of compression for screw presses during pressing of castor seed pulp is established, which allows determining the optimal degree of compression of the corresponding pressing turn. This law makes it possible to set the required free volumes between the respective compression turns for different castor seed productivity with maximum process efficiency.

It is found that a sufficient number of compression turns in screw presses for pressing castor seeds is 8. Accordingly, when used while pressing several such compression turns, the relative weight of the oil will be.

The dissertation was performed following the research work plan for 2016–2020 of Dmytro Motorny Tavriya State Agrotechnological University "Scientific bases of deep processing of castor seeds for oil and high-protein feeds" state registration number 0116U004694. The resolved issue is an essential component of the formation and implementation of the "Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2030", which was approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine №1071 from 24.07.2013 according to the Law of Ukraine "On alternative fuels №1391-XIV from 14.01.2000, order of the Ministry of Finance of Ukraine №631 dated 04.07.2006 "On determining the priority areas of energy-saving", Resolution of the Cabinet of Ministers №1774 of 22.12.2006. "Biofuel Development Program".

The results of the dissertation work (theoretical and experimental) were transferred to the State Enterprise "Huliaipil Mechanical Plant" of OJSC "Motor-Sich" in the form of a scientific report.

The annual economic effect of using the developed screw press for pressing castor seed pulp for the productivity of 0.22 t / h is 458924.4 UAH with a payback period of 0.4 years.

Key words: castor seeds, pulp, rushanka, mint, pressing, screw press, zeer cylinder, screw shaft, expanded channel, pressing turn, relative mass of oil, degree of compression, zeer plate.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Дідур В. В., Чебанов А. Б., Дідур В. А., Назарова О. П., Верещага О. Л. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса для віджимання мезги насіння рицини (на прикладі одного витка шнекового вала) // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2019. Вип. 2(33). С. 34-43 *Особистий внесок здобувача – розроблено методику проведення повнофакторного експерименту пресування мезги насіння рицини.*

2. Nadikto V., Zhuravel D., Chebanov A., Verechaga O. Improving the efficiency of pressing the male of castor seeds in the screw press // Norwegian Journal of development of the international Science, 2021, no. 59/1, pp. 48-53. *Особистий внесок здобувача – встановлено ефективність пресування мезги насіння рицини кожного пресувального витка, обґрунтовано потрібну кількість пресувальних витків пресу. Експериментально виведений закон стиснення мезги рицини у шнековому пресі.*

3. Дідур В. В., Верещага О. Л. Методика вимірювання зусилля у шнековому пресі при віджиманні олії з рослинної сировини // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. 2019. Вип. 19. Т. 2. С. 41-47. *Особистий внесок здобувача – описаний технологічний процес пресування мезги насіння рицини в експериментальному комплексі для віджимання олії з олійної сировини Для контролювання величини зусилля в експериментальному комплексі розроблено та описано метод тензометрування*

4. Дідур В. В., Чебанов А. Б., Дідур В. А., Назарова О.П., Верещага О.Л. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса для віджимання мезги насіння рицини Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. 2019. Вип. 19. Том 4. С. 21-32. . *Особистий внесок здобувача – обґрунтовано ступінь стиснення кожного пресувального витку.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Чебанов А. Б., Верещага О. Л. Вдосконалення конструкції шнекових пресів для віджиму олії із насіння рицини. Сучасні наукові дослідження на

шляху до Євроінтеграції: матеріали міжнародного науково-практичного форуму. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Ч. 1, С. 173-175 *Особистий внесок здобувача – описаний метод розгорнутого каналу при проведенні досліджень з пресування мезги насіння рицини.*

6. Журавель Д. П., Чебанов А. Б., Верещага О. Л. Вимоги до підготовчих операцій при пресуванні мезги насіння рицини. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, 02-27 лист. 2020р. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 1-6. *Особистий внесок здобувача – описані оптимальні режими та технологічні параметри кожної підготовчої операції перед пресуванням насіння рицини.*

7. Журавель Д. П., Чебанов А. Б., Верещага О. Л. Аналіз способів отримання олійних матеріалів із насіння рицини. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, 02-27 лист. 2020р. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 1-6. *Особистий внесок здобувача – розроблена класифікація способів та пристроїв для пресування олійної сировини.*

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

8. Пат. 141085 Україна, МПК В30В 9/02, С11В 1/04 (2006.01). Пристрій для пресування мезги олійних культур / А. Б. Чебанов, О. Л. Верещага, Ю. В. Чебанова. - №: u201908199; заявл. 15.07.2019, опубл. 25.03.2020. Бюл. № 6 *Особистий внесок здобувача – обґрунтовано застосування тензовимірювального елемента.*

9. Дидур В. А., Ткаченко В. А., Ткаченко А. В., Дидур В. В., Верещага А. Л. Структурно-механические свойства мезги семян масличных культур // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Херсон, 2017. Вип. 5. С. 7-25 *Особистий внесок здобувача – описано механічну модель прототипа мезги насіння рицини.*