

ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ВЕРЕЩАГА ОЛЕКСІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

УДК 911.2:574(477.64)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ І
КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВИХ ПРЕСІВ ДЛЯ
ВІДЖИМУ ОЛІЇ ІЗ НАСІННЯ РИЦИНИ**

133 – галузеве машинобудування

13 – механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ О. Л. Верещага

Науковий керівник Надитко Володимир Трохимович, доктор технічних наук,
професор, член-кор. НААН України

Мелітополь – 2021

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, олійність якої 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 обривання 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.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса для віджимання мезги насіння рицини (на прикладі одного витка шнекового вала) / В. В. Дідур, А. Б. Чебанов, В. А. Дідур, О. П. Назарова, О. Л. Верещага. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Кропивницький, 2019. Вип. 2(33). С. 34-43. DOI: 10.32515/2664-262X.2019.2(33). *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. Vol. 59, № 1. pp. 48-53. DOI: 10.24412/3453-9875-2021-59-1-48-53. *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*. Мелітополь, 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. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса для віджимання мезги насіння рицини / В. В. Дідур, А. Б. Чебанов, В. А. Дідур, О. Л. Верещага, О. П. Назарова. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 4: Технічні науки. С. 21-32. DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-21-32. *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 Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. (м. Мелітополь, 2-27 листопада 2020 р.) / ТДАТУ. Мелітополь, 2020. С. 673-678. 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 Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. (м. Мелітополь, 2-27 листопада 2020 р.) / ТДАТУ. Мелітополь, 2020. С. 77-82. Особистий внесок здобувача – розроблена класифікація способів та пристроїв для пресування олійної сировини.*

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

8. Пристрій для пресування мезги олійних культур: пат. 141085 Україна: МПК В30В 9/02, С11В 1/04 (2006.01) / 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. Структурно-механические свойства мезги семян масличных культур / В. А. Дидур, В. А. Ткаченко, А. В. Ткаченко, В. В. Дидур, А. Л. Верещага. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. Херсон, 2017. Вип. 5. С. 7-25. *Особистий внесок здобувача – описано механічну модель прототипа мезги насіння рицини.*

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 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, the oil content of 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.

LIST OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Scientific papers in which the main scientific results are published:

1. Optimization of design and technological parameters of the screw press for squeezing the pulp of castor seeds (on the example of one turn of the screw shaft) / V. V. Didur, A. B. Chebanov, V. A. Didur, O. P. Nazarova, O. L. Vereshchaga. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical sciences*. Kropyvnytskyi, 2019. Vol. 2(33). pp. 34-43. *Personal contribution of the applicant - the method of conducting a full-factor experiment of pressing castor seed pulp has been developed.*

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. Vol. 59, № 1. pp. 48-53. DOI: 10.24412/3453-9875-2021-59-1-48-53. *Personal contribution of the applicant - the efficiency of pressing the castor seed pulp of each pressing turn is established, the required number of pressing turns of the press is substantiated. The law of compression of castor pulp in the screw press is experimentally derived.*

3. Didur V. V., Vereshchaga O. L. Method of measuring the effort in the screw press when squeezing oil from vegetable raw materials. *Proceedings of the Tavriya State Agrotechnological University. Technical sciences*. Melitopol, 2019. Vol. 19. No. 2. pp. 41-47. *The personal contribution of the applicant is a described technological process of pressing castor seed pulp in an experimental complex for squeezing oil from oil raw materials. To control the amount of effort in the experimental complex, a strain gauge method was developed and described.*

4. Optimization of constructive-technological parameters of screw press for squeezing castor seed pulp / V. V. Didur, A. B. Chebanov, V. A. Didur, O. L. Vereshchaga, O. P. Nazarova. *Scientific Bulletin of Tavriya State Agrotechnological University*. Melitopol, 2019. Vol. 19. No. 4: Technical science pp. 21-32. DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-21-32. *Personal contribution of the applicant - the degree of compression of each pressing turn is substantiated.*

Published scientific works of approbation nature:

5. Chebanov A. B., Vereshchaga O. L. Improvement of the design of screw presses for oil extraction from castor seeds. *Modern scientific research on the way to European integration: materials of the international scientific-practical forum*. Melitopol: TSATU, 2019. Vol 1, pp. 173-175. *Personal contribution of the applicant - the method of the expanded channel at carrying out of researches on pressing of pulp of castor seeds is described.*

6. Zhuravel D. P., Chebanov A. B., Vereshchaga O. L. Requirements for preparatory operations when pressing castor seed pulp. *Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the II International scientific-practical conference (Melitopol, 2-27 November 2020) / TSATU, Melitopol, 2020. pp. 673-678. Personal contribution of the applicant - the optimal modes and technological parameters of each preparatory operation before pressing of castor seeds are described.*

7. Zhuravel D. P., Chebanov A. B., Vereshchaga O. L. Analysis of methods of obtaining oil materials from castor seeds. *Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the II International scientific-practical conference (Melitopol, 2-27 November 2020) / TSATU, Melitopol, 2020. pp. 77-82. Personal contribution of the applicant - developed classification of methods and devices for pressing oilseeds.*

Published scientific papers that additionally display the scientific results of the dissertation

8. Device for pressing pulp of oilseeds: Pat. 141085 Ukraine, IPC B30B 9/02, C11B 1/04 (2006.01). / A. B. Chebanov, O. L. Vereshchaga, Yu. V. Chebanova. №: u201908199; declared 15.07.2019, publ. 25.03.2020 Bull. № 6. *Personal contribution of the applicant - the use of a strain gauge is justified.*

9. Structural and mechanical properties of pulp of oilseeds / V. A. Didur, V. A. Tkachenko, A. V. Tkachenko, V. V. Didur, A. L. Vereshchaga. *Bulletin of the Ukrainian branch of the International Academy of Agrarian Education*. Kherson, 2017. Vol. 5. pp. 7-25. *Personal contribution of the applicant - a mechanical model of a prototype of castor seed pulp is described.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВІДЖИМУ ОЛІЇ ІЗ НАСІННЯ РИЦИНИ.....	25
1.1 Аналіз властивостей насіння рицини.....	26
1.1.1 Аналіз фізико-механічних властивостей насіння рицини.....	26
1.1.2 Аналіз реологічних властивостей мезги насіння рицини.....	29
1.2 Аналіз впливу підготовчих операцій на якість кінцевого продукту переробки при пресуванні насіння рицини	32
1.3 Вимоги до процесу переробки насіння рицини	36
1.3.1 Якість обрушення і розділення рушанки насіння рицини.....	36
1.3.2 Якість подрібнення насіння рицини.....	38
1.3.3 Якість процесу волого-теплової обробки м'ятки рицини.....	39
1.4 Аналіз способів отримання олійних матеріалів та відповідних конструкцій машин	41
1.5 Висновки до розділу 1 і постановка задач дослідження.....	56
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ МEZГИ НАСІННЯ РИЦИНИ У ШНЕКОВИХ ПРЕСАХ.....	58
2.1 Структура математичної моделі пресування мезги насіння рицини у шнекових пресах.....	58
2.2 Математична модель тиску в каналі при віджиманні олії із мезги насіння рицини.....	60
2.3 Математична модель балансу тепла при пресуванні мезги насіння рицини.....	64
2.4 Математична модель фільтрації олії.....	67
2.5 Аналіз побудованих моделей фільтрації олії за постійних показників коефіцієнту фільтрації та пористості.....	76
2.6 Дослідження процесу фільтрації олії в каналі шнеку за змінних показників коефіцієнту фільтрації та пористості.....	80

2.7 Аналіз побудованих моделей фільтрації олії за змінних показників коефіцієнту фільтрації та пористості.....	84
2.8 Висновки до розділу 2	88
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	89
3.2 Характеристика об'єктів дослідження.....	90
3.2.1 Експериментальна установка для дослідження процесу пресування мезги насіння рицини у шнековому пресі.....	90
3.2.2 Технологічні властивості досліджуваної суміші.....	108
3.3 Оцінка похибок приладів та методів вимірювання при дослідженнях.....	110
3.4 Методика експериментальних досліджень.....	113
3.4.1 Визначення ефективності процесу пресування мезги насіння рицини.....	113
3.4.1.1 Методика встановлення ступеню стиснення окремого пресувального витка.....	113
3.4.1.2 Методика забезпечення необхідної температури мезги під час пресування.....	117
3.4.1.3 Методика встановлення величини зазору між зерними пластинами розгорнутого горизонтального каналу.....	118
3.4.2 Планування факторного експерименту.....	119
3.4.3 Методика визначення фільтраційних властивостей мезги насіння рицини.....	121
3.4.4 Методика встановлення закону стиснення мезги насіння рицини у шнекових пресах.....	125
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
4.1 Оптимізація параметрів процесу пресування мезги насіння рицини	127

4.2 Оцінка фільтраційних властивостей рицинової олії при пресуванні її мезги у шнекових пресах.....	137
4.3 Визначення відносної концентрації відфільтрованої олії.....	146
4.4 Визначення закону стиснення мезги насіння рицини.....	147
4.5 Висновки до розділу 4.....	151
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА.....	155
5.1 Результати досліджень розробленого пресу для пресування мезги насіння рицини.....	155
5.2 Розрахунок техніко-економічної ефективності використання пресу для пресування мезги насіння рицини.....	155
5.3 Висновки до розділу 5.....	160
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	161
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	164
ДОДАТКИ.....	182

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. 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, олійність якої 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 віджимання олії 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

впровадження 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.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

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, де здобувач був виконавцем окремих етапів.

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 №1774 від 22.12.2006р. «Програма розвитку біопалива».

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – підвищити ефективність технологічного процесу віджимання олії із насіння рицини за рахунок обґрунтування технологічних режимів і конструктивних параметрів шнекового преса

Досягнення зазначеної мети передбачало реалізацію таких *завдань*:

- провести аналіз та розробити класифікацію існуючих способів, пристроїв та конструкцій робочих органів, визначити ступінь впливу факторів в елементах конструкцій шнекових пресів на показники якості процесу отримання рицинової олії;
- розробити математичні моделі тиску мезги та фільтрації олії в каналі шнекового пресу при пресуванні насіння рицини з обґрунтуванням параметрів процесу.
- розробити та обґрунтувати конструктивно-технологічну схему експериментального комплексу для віджимання олії із олійної сировини, виготовити стенд та скласти методикку проведення випробувань.
- оптимізувати технологічні та конструктивні параметри окремих пресувальних витків шнекового пресу для пресування мезги насіння рицини; експериментально визначити фільтраційні характеристики твердої фази мезги насіння рицини та встановити режими фільтрування олії через зеєрні пластини кожного витка шнекового пресу;
- встановити закон стиснення мезги насіння рицини, необхідну кількість пресувальних витків шнекового преса та ефективність процесу пресування при віджиманні рицинової олії;
- визначити техніко-економічну ефективність використання експериментального зразка шнекового пресу.

Об’єкт дослідження – технологічний процес віджимання олії із насіння рицини шнековим пресом.

Предмет дослідження – зв’язки конструктивно-технологічних параметрів шнекового пресу для мезги насіння рицини з якістю виконання процесу віджимання рицинової олії.

Методи дослідження.

Теоретичні дослідження проводилися з використанням загальних положень теоретичної механіки, методів механіки суцільних середовищ, гідроаеродинаміки, математичного моделювання та фізики. При моделюванні

математичну модель процесу віджимання олії із мезги насіння рицини шнековим пресом, використовувалися методи диференційного та інтегрального числення. При дослідженні руху насіння методом числового експерименту використовувалися пакети Maple 4, Mathcad, Statistica 10, Microsoft Office Excel 2007. Експериментальні дослідження виконані у лабораторних умовах з урахуванням прийнятих методик та галузевих стандартів й проаналізовані за допомогою методів математичної статистики та планування багатофакторного експерименту

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що автором дисертації:

вперше:

- за допомогою побудованої математичної моделі фільтрації рицинової олії визначено нові закономірності впливу конструктивно-технологічних параметрів пресувальних витків шнекового пресу на показники ефективності процесу віджимання олії із мезги насіння рицини;
- отримано математичну залежність закону стиснення шнекового пресу, що дозволяє визначити його конструктивні параметри для різної продуктивності по насінню рицини із забезпеченням максимальної ефективності процесу.

набули подальшого розвитку:

- математичні моделі залежності градієнта тиску в каналі від конструктивних параметрів пресу з урахуванням властивостей кінцевого продукту, дослідження який дозволило обґрунтувати оптимальний тиск мезги на кожному пресувальному витку, що створюється при пресуванні.

Практичне значення одержаних результатів. Встановлений закон стиснення мезги насіння рицини, що забезпечує визначення потрібних вільних об'ємів кожного пресувального витку у шнекових пресах різної продуктивності при їх використанні для пресування мезги насіння рицини. Отримано значення потрібної температури мезги під час її пресування та

зазору у зерних пластинах шнекового пресу на відповідних пресувальних витках. Розроблений прес забезпечує необхідну ефективність віджимання олії із мезги насіння рицини.

Результати досліджень увійшли до звіту про виконання держбюджетної програми 0116U004694 «Наукові основи глибокої переробки насіння рицини на олію та високобілкові корми» за 2016-2020рр. Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного та передані до ТОВ «СПП ЛАНА» для подальшого впровадження.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійною науковою працею, в якій вирішено питання визначення необхідних технологічних режимів і конструктивних параметрів шнекових пресів при пресуванні мезги насіння рицини.

Основні результати дисертаційної роботи здобувача є авторськими. В наукових роботах, виконаних у співавторстві, особистий внесок наступний: [39] – описано механічну модель прототипа мезги насіння рицини; [67] – описані оптимальні режими та технологічні параметри кожної підготовчої операції перед пресуванням насіння рицини; [84] – розроблена класифікація способів та пристроїв для пресування олійної сировини; [117] – розроблено методику проведення повнофакторного експерименту пресування мезги насіння рицини; [169] – описаний метод розгорнутого каналу при проведенні досліджень з пресування мезги насіння рицини; [170] – обґрунтовано застосування тензовимірювального елемента; [176] – 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; [182] – обґрунтовано ступінь стиснення кожного пресувального витку [185] – встановлено ефективність пресування мезги насіння рицини кожного пресувального витка, обґрунтовано потрібну кількість пресувальних витків пресу. Експериментально виведений закон стиснення мезги рицини у шнековому пресі.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися на міжнародному науково-практичному форумі: «Сучасні наукові дослідження на шляху до Євроінтеграції» (м. Мелітополь, ТДАТУ, 2019); на II Міжнародній Науково-практичній конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» (м. Мелітополь, ТДАТУ, 2020).

Публікації. Основний зміст і результати досліджень автора за темою дисертації опубліковані у 9 наукових працях, з них 3 у виданнях, рекомендованих ДАК України, 1 – за кордоном, 3 тези доповідей на науково-практичних конференціях, 1 деклараційний патент України на корисну модель та 1 у інших виданнях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 184 найменувань і 4 додатків. Повний обсяг дисертації – 216 сторінок. Основна частина дисертації складає 146 сторінок і містить 87 рисунки та 15 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВІДЖИМУ ОЛІЇ ІЗ НАСІННЯ РИЦИНИ

З метою подальшого розвитку і розширення технологічних процесів у сільському господарстві, дослідження взаємодії окремих робочих органів різних сільськогосподарських машин із суцільними механічними середовищами здійснювали такі науковці як: В.П. Горячкін [1], А.М. Голдовський [2], М.М. Летошнєв [3], Б.А. Берг [4], В.А. Масліков [5], П.І. Чечевицин [6], А.Я. Соколов [7] В.А. Дідур [8, 9], Р.М. Рогатинський [10], Б.М. Гевко [11], Надикто В.Т. [12, 13] та ін.

Насіння рицини складається із високоолійного ядра та лушпиння. Олійність насіння рицини коливається від 50 до 55 % [14], вміст лушпиння в насінні не більше 11% [15]. Після подрібнення насіння рицини у суміш, що називається м'яткою, вона направляється на подальшу волого-теплову обробку із заданими параметрами, де утворюється віскоподібна суміш – мезга насіння рицини. Цей продукт направляється в преси попереднього віджиму для вилучення олії із мезги. Згідно з [16], олійність макухи після попереднього пресування не повинна бути більшою за 8,5%.

Сучасне обладнання, за допомогою якого здійснюється пресування, використовується для різних олійних культур, зокрема для соняшнику. Але, таке обладнання має недостатню ефективність при пресуванні насіння рицини: воно не дозволяє в повній мірі отримати рицинову олію із мезги та забезпечити найменшу олійність макухи. Із-за цього виникає потреба у додаткових або повторних операціях технологічного процесу виробництва рицинової олії [17]. З огляду на це, робота з пошуку способів пресування насіння рицини та конструкцій пресів направлена на створення виробниками конкурентоспроможного обладнання, є актуальною. Для дослідження процесу пресування мезги насіння рицини у першу чергу необхідно встановити фізико-механічні і реологічні властивості насіння рицини.

1.1 Аналіз властивостей насіння рицини

У результаті того, що фізико-механічні і реологічні властивості насіння рицини відрізняються від інших олійних культур, неможливе застосування існуючих технологічних машин без їх відповідного реконструювання.

Для того, щоб досягти певного результату у цьому питанні, необхідно встановити (за відсутності даних – провести необхідні дослідження) основні фізико-механічні властивості насіння рицини та реологічні властивості мезги насіння рицини.

1.1.1 Аналіз фізико-механічних властивостей насіння рицини

Найбільш розповсюдженими сортами рицини є: Олеся, Хортицька 1, Хортицька 3, Хортицька 2, Хортицька 7, Хортичанка, Кубанська 15, Громада, ВНИИМК-165, Афродита, Донська [14, 18].

Роботи вчених [19-24] присвячені вивченню і дослідженням фізико-механічних властивостей насіння рицини. До таких властивостей відносяться: геометричні характеристики насіння (ширина, довжина та товщина насіння); аеродинамічні характеристики (швидкість витання компонентів рушанки) лушпиність; маса 1000 штук; сипкість маси, міцність оболонки ядра [20].

Розмірні характеристики насіння рицини коливаються в достатньо широких межах. Це залежить від сорту насіння, від зони вирощування та від кількості опадів або поливу. Геометричні розміри насіння рицини наступні: за довжиною 9,6...15,2 мм, за шириною 6,6...9,4 мм, за товщиною 4,8...7 мм [19-21].

Лушпинність насіння рицини (виражене у відсотках відношення маси лузги до повної маси насіння) в залежності від сорту коливається від 22 до 23%. Маса 1000 штук насіння складає від 280 до 320 г. Натура насіння (зважений об'єм насіння у літру) складає близько 360 г/л [20].

Показник травмованості насіння рицини залежить від швидкості його удару о робочу поверхню, модуля пружності робочої поверхні та від напрямку удару. За великого удару, насіння рицини розсипається на дрібні частинки. Внаслідок цього при розділенні на ядро та лушпиння збільшуються втрати ядра, насіння, яке виходить разом із лушпинням [20]. Експериментальні данні щодо травмування насіння від швидкості удару об робочу поверхню представлені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Залежність травмування насіння рицини від швидкості удару зі сталлюю поверхнею [20]

Швидкість удару, м/с	4,6	7,9	9,6	11,5	12,7	14,8
Травмування насіння, %	4,8	13,0	32,5	47,0	61,0	75,0

Механічні властивості оболонок олійних культур характеризуються міцністю, пружністю та пластичністю. Міцність оболонки – це величина зусилля, при якому відбувається її руйнування. Відповідно, дія зовнішньої сили при руйнуванні оболонки відбувається у різних напрямках рис. 1.1 [20].

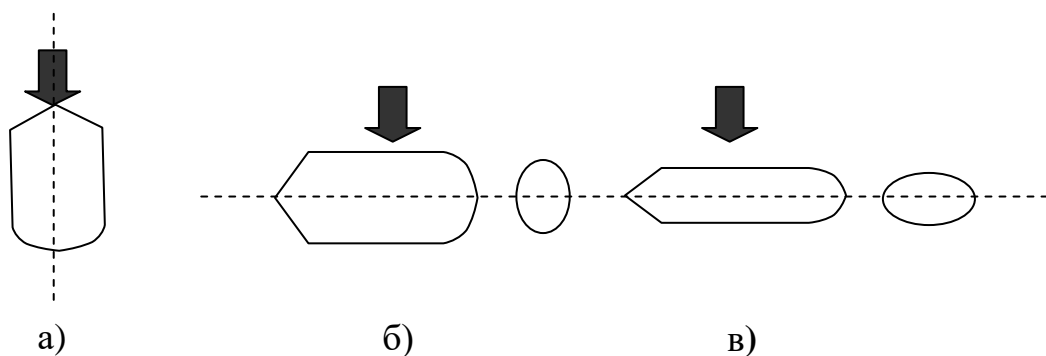


Рисунок 1.1 – Варіанти прикладення зовнішніх зусиль при руйнуванні насіння рицини: а – за довжиною, 2 – за шириною, 3 – за товщиною [20]

Експериментальні данні щодо міцностей оболонок з урахуванням навантаження, що діє на насіння і напрямку дії приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Зусилля руйнування оболонки ядра [20]

Напрямок дії	Значення, Н		
	Мінімальне	Максимальне	Середнє
а	120,62	433,46	305,78
б	109,31	343,00	247,02
в	252,54	621,92	419,05

Міцність оболонок окрім напрямку дії зусилля залежить і від вологості. За даними досліджень [25] встановлено, що зі збільшенням вологості насіння міцність оболонок знижується.

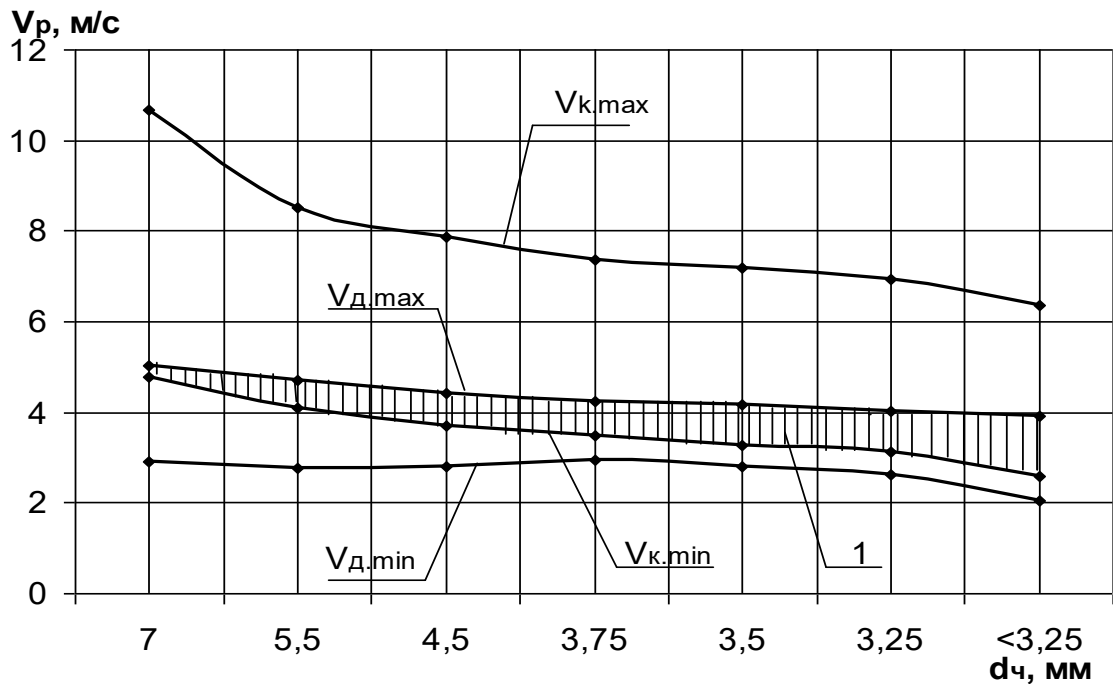
Внутрішнє тертя або рухливість частинок сипкого тіла характеризується кутом природного нахилу. Під ним розуміють найбільший кут, який може створювати вільна поверхня сипкого тіла із горизонтальною площиною. Для насіння рицини такий кут становить $16...20^{\circ}$ по залізу і $20...24^{\circ}$ – по дереву [20, 25-27]. Окрім цього, зі збільшенням вологості насіння кут природного нахилу теж збільшується [26, 28]. Для рушанки рицини при вологості $4,8...6,1\%$, кут природного нахилу по залізу складає 27° , по дереву – 32° [26].

Характеристикою, що оцінює величину зв'язку двох тіл, які знаходяться під дією деформувального навантаження є коефіцієнт зовнішнього тертя, який представляє собою відношення тангенціального зусилля (сили опору тертя) до нормального навантаження деформувальної поверхні. Для рицини такий коефіцієнт складає $0,29...0,38$ [25], для рушанки – $0,51...0,62$ [26].

Аеродинамічні властивості визначають вимоги до процесу розділення суміші та обрушення насіння рицини, так як за значного подрібнення насіння під час обрушення розділити суміш за аеродинамічними властивостями буде неможливо.

За даними [29] встановлені максимальні та мінімальні рівні швидкості витання компонентів рушанки в залежності від їх розмірів (рис. 1.2). За

даними [30] середні значення швидкості витання насіння і компонентів рицини: насіння – 10,2 м/с; ядро – 10,2 м/с; лушпиння – 4,0 м/с.



$V_{к,маx}$, $V_{к,мін}$ – максимальна та мінімальна швидкість витання ядриці, відповідно; $V_{д,маx}$, $V_{д,мін}$ – максимальна та мінімальна швидкість витання лушпиння, відповідно; 1 – зона перетину.

Рисунок 1.2 – Залежності швидкості витання компонентів рушанки від їх розмірів [29]

1.1.2 Аналіз реологічних властивостей мезги насіння рицини

Однією із найбільш важливих задач удосконалення технології переробки рицини на рицинову олію є створення оптимальної структури мезги насіння рицини, від якої напряду залежить якість готової продукції.

Питаннями дослідження реологічних властивостей олійних культур займалися вчені [31-38] та ін. До основних реологічних властивостей, в тому числі і олійних матеріалів, відносять в'язкість, пружність, напруженість деформація, напруженість зсуву [33].

Мезга насіння рицини відноситься до двофазових систем. Однією частиною є гелева гідрофільна фаза, яка складається із грубодисперсного гелевого порошку. Він доволі складний за хімічним складом та має гідрофільні властивості. Другою частиною є рідка гідрофільна фаза, що

складається із олії із розчиненими в ній речовинами, які знаходяться на внутрішній та зовнішній поверхнях частинок [39].

Процес ущільнення відбувається за рахунок поступового витиснення рицинової олії з розчиненими у ній речовинами та за рахунок одночасного протікання реологічних процесів у гелевій гідрофільній фазі. На тривалість процесу ущільнення будуть впливати геометричні розміри зони ущільнення і фізико-механічні властивості кожної фази мезги та їх взаємодія [40]. Механічні властивості мезги визначаються наявністю гелевої частини та кількістю і ступенем виділення олії. Фізичні властивості мезги – це складне поєднання властивостей гелевої і олійної частин. Відповідно, процес ущільнення складається із двох одночасних процесів: процес формування об'ємної зміни в часі гелевої фази у результаті деформації в'язких зв'язків між частинками мезги та процес переміщення фаз мезги відносно один одного [39].

Для врахування реологічних властивостей, у тому числі і олійних культур, вибирають математичну модель, що відображає найбільш суттєві властивості матеріалу, які досліджуються. Такими моделями можуть бути як чисто ідеальні (ідеально-пружне тіло Гука, ідеально-пластичне тіло Сен-Венана, ідеально-в'язка рідина Ньютона), так і об'єднані між собою послідовно або паралельно моделі ідеальних тіл (пружно-пластичне тіло, пружно-в'язке релаксуюче тіло Максвелла, пружне післядіюче тіло Кельвіна або Фойгта, тіло Бінгама, тіло Шведова) [35, 38].

За прототип мезги насіння рицини приймають тісто [39, 40]. Механічна модель складається з чотирьох елементів: двох елементів тіла Максвелла (E_0 , η_n) і двох елементів тіла Кельвіна (E_e , η_e). Дія виконується в умовах постійного напруження P . Зсув такої загальної сумарної пружньо-еластичної пластичної моделі розвивається послідовно (рис. 1.3) [39, 41]. Спочатку виникає визначальний модуль E_0 умовно-миттєвої деформації ε_0 (пружина, що розтягує 1 тіла Максвелла), потім розвивається пружно-пластична деформація паралельно працюючих двох елементів 2 та 3 тіла Кельвіна, що

визначає модуль еластичності E_e , а також умовну в'язкість еластичності η_e . Четвертим елементом моделі загальної деформації є рух поршня тіла Максвелла, що характеризує ефективну або пластичну в'язкість η_n [39].

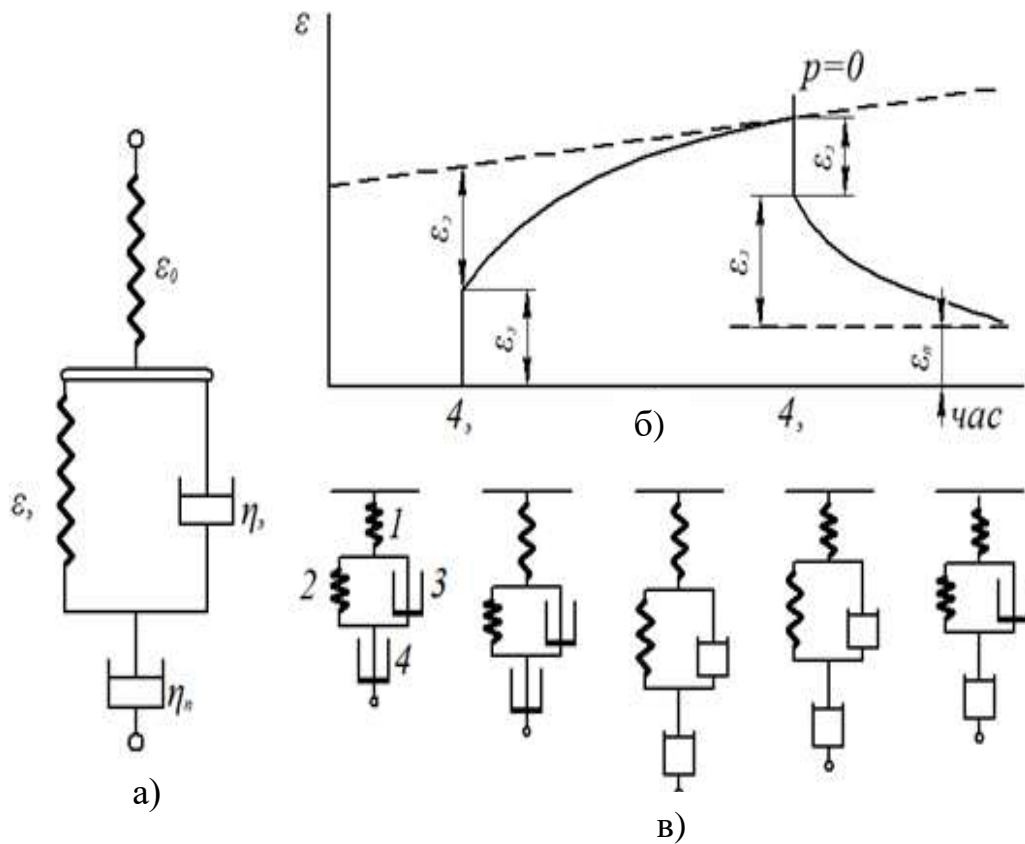


Рисунок 1.3 – Схема пружно-еластичних і пластичних деформацій зсуву тіста при постійному напруженні: а – механічна модель; б – залежність деформації від часу за постійної напруги; в – схема роботи моделі [41]

З урахуванням тривалості дії, розвиток сумарної деформації моделі може бути наближено виражено рівнянням, що складається із трьох частин, які характеризують миттєво-пружну, еластичну і пластичну деформації [39]:

$$\varepsilon = \frac{P}{E_0} + \frac{P}{E_e} \cdot (1 - e^{-\frac{\tau}{\theta}}) + \frac{P}{\eta} \cdot \tau, \quad (1.1)$$

де P – постійна напруженість;

E_0 – визначальний модуль умовно-миттєвої деформації;

E_e – модуль еластичності;

η – коефіцієнт в'язкості;

τ - сума напруженостей умовного і в'язкого елементів.

Таким чином, рівняння миттєво-пружної, еластичної і пластичної деформації дозволить прогнозувати реологію в'язкопластичного руху мезги насіння рицини в каналах олійного пресу та знайти правильне рішення при проектуванні нового обладнання для пресування мезги насіння рицини.

1.2 Аналіз впливу підготовчих операцій на якість кінцевого продукту переробки при пресуванні насіння рицини

Технології з переробки рицини реалізуються за двома варіантами: з попереднім відділенням лушпиння від ядра і без цього [26].

До основних підготовчих операцій олійних культур з попереднім відділенням лушпиння відносяться: обрушення насіння, відділення оболонки від ядра, подрібнення насіння та приготування мезги (волого-теплова обробка м'ятки). До підготовчих операцій без попереднього відділення лушпиння відносяться подрібнення насіння та приготування мезги [42-44].

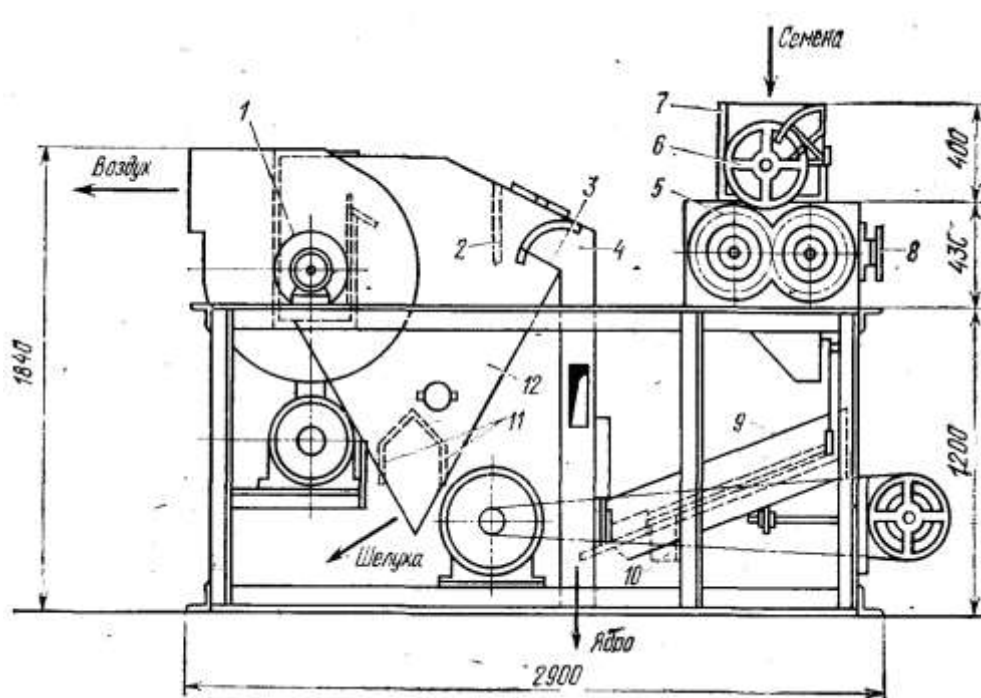
Різниця у виборі технології полягає у тому, яку потрібно отримати якість кінцевого продукту. Вибір технології з попереднім відділенням лушпиння забезпечує якість рицинової олії при відповідній технології очищення згідно ГОСТ18102-95 [45], без попереднього відділення лушпиння – згідно ГОСТ 6757-96 [46].

Пояснюється це тим, що протеїни і ліпіди, які підвищують якість олії, знаходяться в ядрі, а рицинин (алкалоїд рицини), який значно знижує якість олії при переході до ядра, у більшій кількості знаходиться у лушпинні [14]. Окрім цього, лушпиння має у собі велику кількість безазотистих речовин, продуктів окислення, жирних кислот, віскоподібних речовин та, особливо, фарбуючих речовин, у наслідок чого знижується прозорість рицинової олії [17, 39]. Автором роботи [42] зазначено, що за кількості воску в олії на рівні 0,005%, у ній з'являється ледве помітна сітка. А за кількості лушпиння у ядрі

на рівні 6...8% у форпресовій олії кількість воску знаходиться в межах 0,05-0,1% [42]. Присутність лушпиння в ядрі впливає на роботу устаткування: зменшується відсоток використання його корисної місткості, знижується продуктивність [26]. Заоліювання оболонки призводить до зниження виходу олії [26]. Дослідженнями роботи [47] для підвищення якості рицинової олії підтверджено необхідність зниження вмісту лушпиння до 3% за допомогою розробленого пристрою.

Але і відсутність лушпиння в ядрі теж впливає на роботу устаткування. Суміш без наявності лушпиння стає більш віскоподібною і продавлюється через зерні отвори під час пресування у пресах. Це вимагає підвищених вимог до процесів подрібнення ядра та волого-теплової обробки м'ятки.

Враховуючи специфічні особливості насіння рицини, а саме наявність високоолійного ядра і крихкої оболонки, підвищення ефективності переробки олійного продукту здійснюють шляхом поєднання двох операцій (обрушення та сепарування) в комбінованій машині – шельмашині (рис. 1.4) [42].

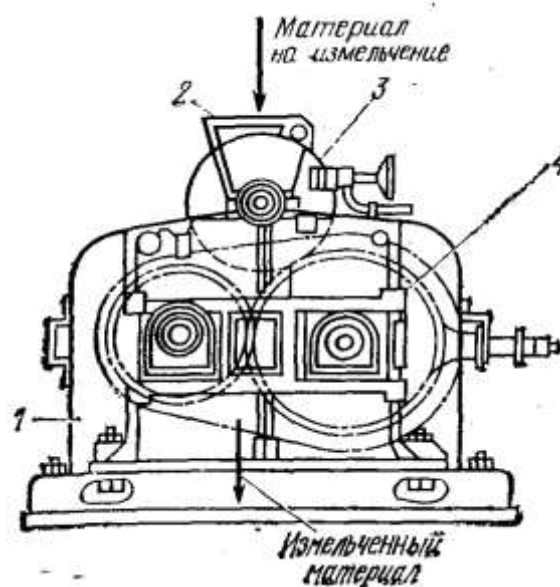


1 – вентилятор; 2 – перегородка; 3 – відбивальний шибер; 4 – аспіраційна камера; 5 – подрібнювальні валки; 6 – живильний валик; 7 – бункер; 8 – маховик; 9 – струсне сито; 10 – жолоб; 11 – клапан; 12 – осадова камера
Рисунок 1.4 – Шельмашина для розділення рушанки рицини [42]

Запропонована авторами шельма шина (рис. 1.4) за рахунок поєднання двох операцій в одній машині скорочує час дотику оболонки із частково зруйнованим високоолійним ядром. Це забезпечує зниження втрат олії під час її виробництва.

Подрібнення ядра насіння рицини здійснюється з метою максимально-можливого руйнування кліткової структури та надання олійному матеріалу спеціальної зовнішньої структури, яка необхідна для таких технологічних операцій, як волого-теплова обробка та пресування. Із збільшенням ступеню подрібнення ядра насіння рицини, збільшується вміст пилоподібнини, наявність яких призводить до злежування олійного матеріалу, погіршенню умов обробки м'ятки водою при волого-тепловій обробці [42]. Це веде до зменшення виходу кінцевого продукту після пресування унаслідок продавлювання мезги в зерні отвори шнекових пресів.

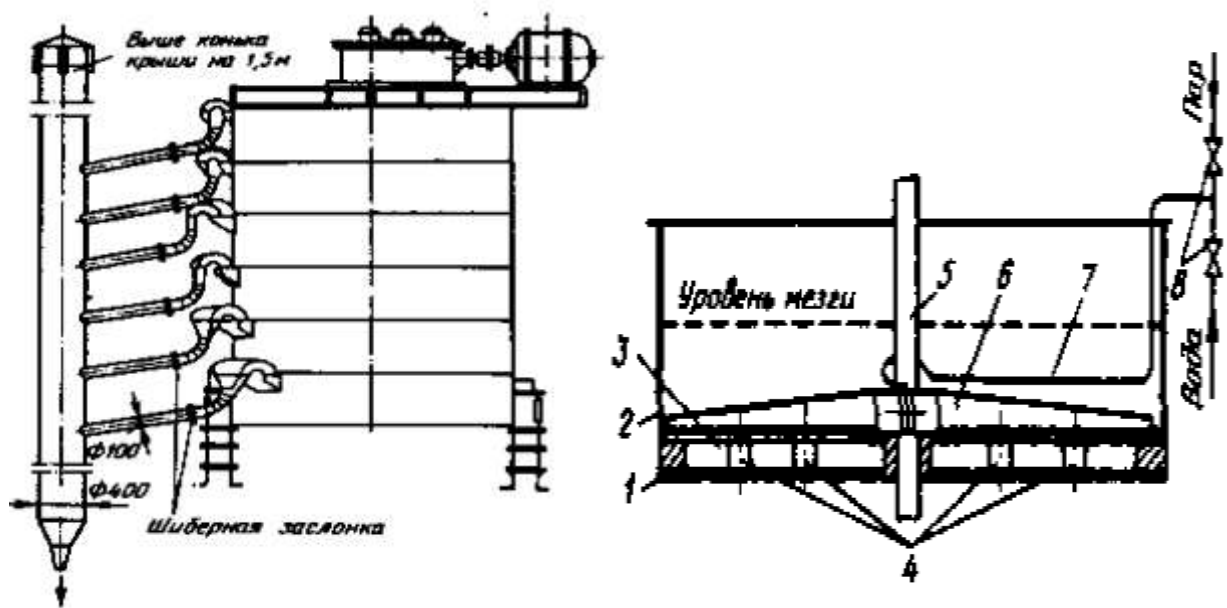
Ядро насіння рицини унаслідок його великої олійності при значному подрібненні перетворюється в мазеподібний нетранспортабельний продукт, в якому рівномірний розподіл вологи практично неможливий. Із-за цього, його подрібнення здійснюється тільки на однопарних рифлених вальцевих верстатах (рис. 1.5) [42]. Такий пристрій дозволяє ефективно подрібнювати суміш враховуючи розмірні характеристики насіння рицини.



1 – станина; 2 – живлячий ківш; 3 – розподільчий валик; 4 – рифлені валки
Рисунок 1.5 – Однопарний рифлений пальцевий верстат [42]

Після подрібнення насіння рицини у м'ятку для максимального вилучення олії здійснюється волого-теплова обробка [48, 49]. Автор роботи [5] зазначає, що задача волого-теплової обробки м'ятки перед пресуванням полягає у тому, щоб послабити сили, які тримають олію в м'ятці. Це досягається зволоженням і підігріванням м'ятки (I етап). Але зволожена м'ятка становиться дуже пластичною, і тому при пресуванні з неї погано відділяється олія. Для надання їй певних пружних властивостей із м'ятки видаляють вологу, що досягається висушуванням і нагрівом зволоженої м'ятки (II етап).

Розповсюдженим пристроєм для проведення операції волого-теплової обробки м'ятки є чанна жаровня (рис. 1.6) [50].



а)

б)

1- днище; 2 – обичайка; 3 – рубаха; 4 – анкерні зв'язки; 5 – вал; 6 – мішалка; 7 – трубка для подачі пару

Рисунок 1.6 – Чанна жаровня: а – один чан жаровні; б – загальний вигляд [50]

Конструкція жаровні (рис. 1.6 а) складається мінімум із 6 чанів (приклад одного чана представлений на рис. 1.6 б). Як правило, зволоження м'ятки (I етап волого-теплової обробки) здійснюється у

верхньому чані жаровень (рис 1.6 а), висушування м'ятки (II етап волого-теплової обробки) здійснюється у нижніх чанах.

Таким чином, незалежно від обраної технології з переробки рицини, підготовчі операції перед пресуванням впливають на якість і кількість кінцевого продукту переробки. Мезга, що подається на пресування повинна мати відповідні характеристики, які забезпечуються окремими технологічними процесами. Тому, необхідно встановити вимоги, які висуваються до олійного матеріалу після кожної підготовчої операції.

1.3 Вимоги до процесу переробки насіння рицини

Для покращення процесу пресування мезги насіння рицини необхідно визначити вимоги щодо якості обрушення і розділення рушанки рицини, якості подрібнення рушанки у м'ятку та параметрів волого-теплової обробки м'ятки рицини.

1.3.1 Якість обрушення і розділення рушанки насіння рицини

Існує велика кількість способів і технічних засобів обрушення і розділення рушанки, якими займалися у різні роки, наприклад [51-62].

Науковцями Таврійського державного агротехнологічного університету (ТДАТУ) на підставі [63-65] розроблений експериментальний пристрій обрушення насіння рицини (рис. 1.7), який забезпечує отримання безлузгового ядра насіння рицини та складається із струсного сита, де відбувається калібрування насіння, двох пар валків, що обертаються назустріч один одному, де відбувається руйнування відкаліброваного насіння. Окрім цього, перед руйнуванням оболонки, насіння орієнтують вздовж його більшої осі та руйнування ведуть шляхом розрізання насіння вздовж зорієнтованої осі [65, 66].

В залежності від фізико-механічних характеристик, а саме довжини, ширини та товщини насіння (розділ 1.1) встановлюється відстань між

валками від 2 до 10 мм; достатня швидкість обертання валків складає 220...270 об/хв. Струсне сито рухається зі швидкістю 110...130 об/хв. Кут природного нахилу напрямної змінюється в діапазоні 24...30° [67].

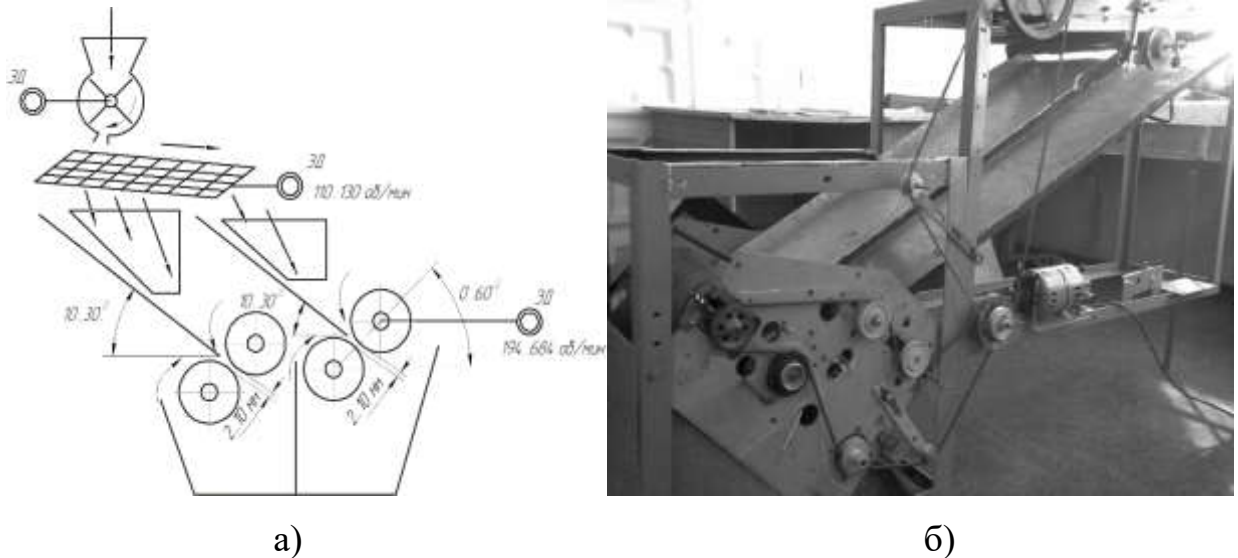


Рисунок 1.7 – Пристрій для обрушення насіння рицини: а – технологічна схема; б – загальний вигляд лабораторної установки [66]

Стосовно сепарації рушанки насіння рицини необхідними умовами є максимальне якісне її розділення на лушпиння та ядро, а також забезпечення гранично-допустимої концентрації пилу рицини в повітрі робочої зони під час сепарування. Це у край необхідно, так як у повітрі, окрім частинок пилу присутній і токсичний алерген [29].

Автором роботи [68] встановлено, що розділення рушанки рицини необхідно здійснювати за аеродинамічними характеристиками. За допомогою експериментального зразка пневмосепаратора з пиловловлюючим пристроєм встановлені параметри: оптимальна швидкість повітряного потоку у робочій зоні пневмосепаратора з урахуванням аеродинамічних характеристик елементів насіння рицини повинна складати 2...5 м/с. При цьому, забезпечується вміст ядра у лушпинні на рівні 4,5% олійність лушпиння – 0,85%, Запиленість робочої зони при роботі пневмосепаратора складає не більше 4 мг/м³.

1.3.2 Якість подрібнення насіння рицини

Питаннями підвищення якості подрібнення насіння олійних культур у різні роки займалося багато вчених [69-76]. Встановлено, що властивості олійного матеріалу – вологість та лузжистість, істотно впливають на якість подрібнення. Із збільшенням вологості ядра, його пружність і міцність зменшуються. Надлишковий вміст в олійному матеріалі лушпиння, що має тверду структуру, погіршує якість подрібнення. Зі збільшенням швидкості навантаження при подрібненні, зменшується межа пропорційності і межа міцності [50].

При застосуванні технології переробки рицини без попереднього відділення лушпиння показник лузжистості змінювати неможливо і забезпечується він тільки кількістю лушпиння в насінні. Що ж стосується технології переробки рицини із попереднім відділенням лушпиння, то показник лушпиння забезпечується операцією розділення рушанки рицини.

Для того, щоб досягти більш рівномірного розподілу вологи у гелевій частині ядра та для збереження її транспортуючих властивостей, вологість насіння повинна бути на рівні 7 %. Із такою вологістю її подрібнюють на однопарних плющильних вальцах (рис. 1.8).



а)

б)

Рисунок 1.8 – Однопарні плющильні вальці:
а – вид з боку; б – вид зверху

Зазор між валками (рис. 1.8) повинен бути на 1,0...2,0 мм менше, ніж товщина середньої за розмірами фракції насіння [42]. Окрім цього, валки повинні бути рифленими із глибиною рифлів 3 мм. З огляду на мазеподібну структуру помелу насіння рицини, транспортування її дещо проблематичне і тому валці необхідно встановлювати так, щоб м'ятка поступала безпосередньо у жаровню під кутом не менше 80° [76].

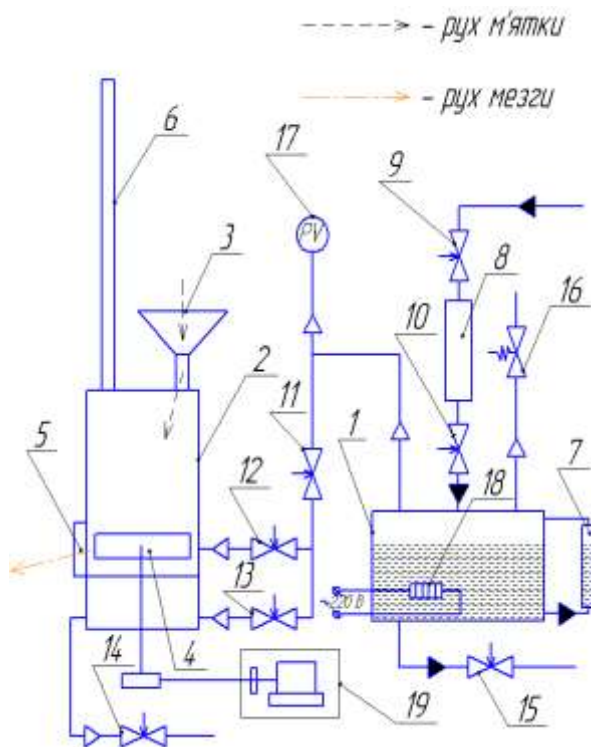
1.3.3 Якість процесу волого-теплової обробки м'ятки рицини

Головна вимога при проведенні волого-теплової обробки – це отримання макухи необхідної олійності, тобто забезпечення оптимального віджиму олії. Ця вимога поєднується з тим, що мезга, яка поступає на пресування, перш за все повинна мати пластичну та пружну структуру. Це дозволяє розвинути достатньо високий тиск у пресі без вичавлювання мезги із зерних отворів.

Конкретні вимоги до властивостей мезги різні в залежності від способів подальшої її переробки: однократне пресування, двократне пресування, форперсування перед екстракцією [42].

Для забезпечення якості процесу волого-теплової обробки для м'ятки насіння рицини, авторами [77] запропоновано експериментальний пристрій (рис. 1.9), який дав змогу визначити режими волого-теплової обробки перед пресуванням мезги рицини. Згідно технологічного процесу спочатку відбувається зволоження м'ятки, а потім її сушіння. Для цього, рушанка насіння рицини подається до жаровні 2 через завантажувальний бункер 3. Зволоження м'ятки виконується гострою парою, що подається до чану жаровні 2 через відкритий вентиль 11 та 12. Вентиль 13 при цьому закритий. Причому, вентиль 12 відкритий повністю, а вентиль 11 – відкритий на таке положення, щоб тиск пари, залишався незмінним, який контролюється датчиком тиску 17. Перемішування рушанки під час жаріння виконується за допомогою мішалки 4. Пар під час жаріння відводиться через трубу для відведення парів 6. Сушіння м'ятки здійснюється глухою парою, що

подається до нижньої частини жаровні через вентилялі 11, 13 та 14. Для цього перекривається вентиль 12, що подає гостру пару, та відкриваються повністю вентилялі 13 та 14. Положення вентилялю 11 – не змінюється для заданого значення тиску. Жаріння м'ятки закінчується вивантаженням матеріалу через вивантажувальне вікно 5. Прохідний вентиль 15 необхідний для зливання води з парогенератору [77].



а)

б)

1 – парогенератор; 2 – жаровня; 3 – завантажувальний бункер; 4 – мішалка; 5 – вивантажувальне вікно; 6 – труба для відведення парів; 7 – мірне скло парогенератору; 8 – додаткова ємність для води; 9-15 – прохідний регулюючий вентиль; 16 – зворотній клапан; 17 – манометр; 18 – нагрівальний елемент; 19 – електродвигун з редуктором

Рисунок 1.9 – Експериментальна жаровня: а – технологічна схема;
Загальний вигляд [77]

Авторами роботи [78] встановлені оптимальні режими волого-теплової обробки: зволоження м'ятки насіння рицини повинно відбуватися до вологості від 9,1 до 10,7%; сушіння м'ятки – від вологості 6,7 до 5,7%; зволоження і сушіння м'ятки повинно здійснюватися гарячою парою, тиск якої складає від 3,7 до 4,4 кПа [67]. Встановлені режими практично

підтверджують дані робіт [79, 80] щодо оптимальних значень при зволоженні та сушінні під час проведення волого-теплової обробки матеріалу.

Незалежно від продуктивності, шар олійного матеріалу повинен мати висоту до 300 мм. Це потрібно для того, щоб відбувався процес само пропарювання. Тобто коли волога, що випарюється з нижніх прошарків, проходить через всю товщу м'ятки, що створює її однорідність [67].

Питаннями волого-теплової обробки займалися автори робіт [81-83], де приведено диференціальні рівняння, які описують реальні, процеси, що відбуваються при волого-тепловій обробці. Окрім цього, авторами робіт пропонується зволожувати м'ятку насіння рицини до вологості 13,5% при низькій температурі, що значно підвищує її якісні властивості.

1.4 Аналіз способів отримання олійних матеріалів та відповідних конструкцій машин

В останні роки при виробництві олії із насіння олійних культур користуються способами (рис. 1.10) [84] пресування із застосуванням пресів різних конструкцій і екстракцією із застосуванням розчинників [17, 49, 80, 85-88].

Що стосується способу екстракції, то при переробці рицини згідно існуючих технологічних схем він застосовується після пресування [23]. Питаннями екстракційного методу отримання олії займалися такі вчені, як І. В. Гавриленко [16], В. Л. Остроушко [89, 90], В. Е Константинов [91], В. В. Белобородов [92, 93], П. Ф. Петик [94], А. Г. Сергеев [95] та ін. При цьому способі подрібнене насіння занурюють у розчинник. Далі, отримують розчинену олію у розчиннику і шрот (зnezаражений залишок). Після цього, за допомогою спеціального обладнання витискається розчинник з олії. Однак, розчинники, що застосовуються для вилучення олії методом екстракції [96], повинні задовольняти вимогам, що висуваються до них технікою і технологією екстракційного процесу: добре і швидко розчинювати олію;

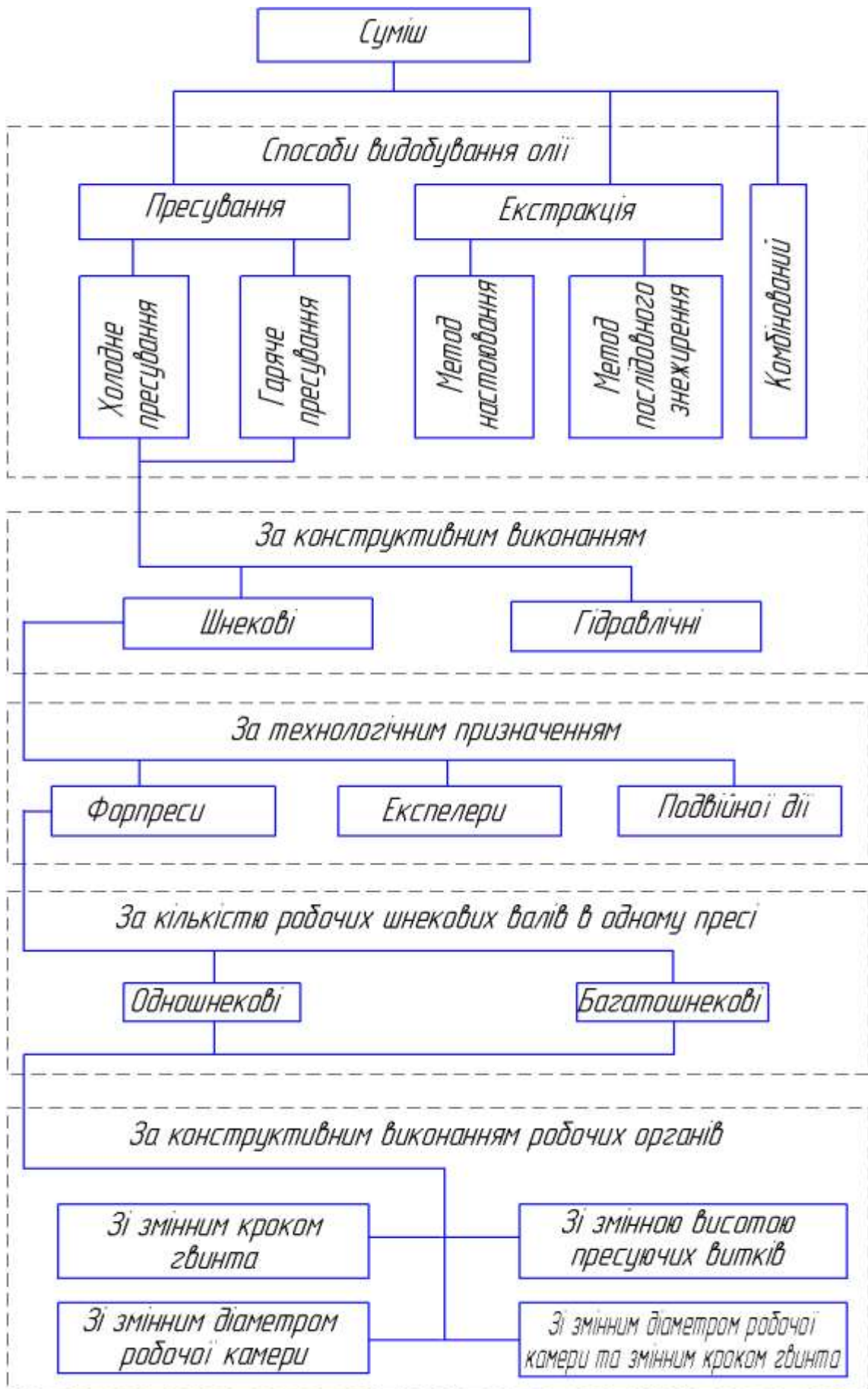


Рисунок 1.10 – Класифікація способів та пристроїв пресування олійної сировини [84]

видалятися повністю з масла і шроту; не надавати їм іншого запаху і смаку, не бути шкідливими для здоров'я обслуговуючого персоналу; бути дешевими і не дефіцитними тощо [42, 70]. Усі розчинники, що використовуються в сучасній промисловості, задовольняють тільки деяким потребам. Таким чином, при екстракції знижуються особливо якісні показники олії і шроту, а також збільшується собівартість процесу [97, 98] за рахунок додаткового очищення олії й інтенсифікації шроту. Такі фактори не дають можливості використовувати цей спосіб при виробництві олії із насіння рицини.

При застосуванні способу пресування, у порівнянні з екстракцією, використання недешевих розчинників, додаткове очищення олії й інтенсифікація шроту непотрібні в загальному технологічному процесі отримання рицинової олії. За рахунок цього можна знизити собівартість процесу при забезпеченні необхідної якості рицинової олії. Такі фактори є визначальними при виборі способу отримання рицинової олії.

Однак, існуючі конструкції пресів, що випускає промисловість не пристосовані для пресування саме насіння рицини у зв'язку із тим, що фізико-механічні властивості насіння рицини сильно відрізняються від інших олійних культур. Це вимагає пошуку принципово нових конструктивних рішень при застосуванні способу пресування насіння рицини.

Для здійснення такого пошуку, насамперед, необхідно вивчити процеси віджимання олії, що відбуваються у пресах. Для цього, необхідно мати правильне уявлення про відділення олії від гелевої частинки.

А. М. Голдовський [2] запропонував спрощену схему процесу віджимання олії (рис. 1.11). За цією схемою (рис. 1.11) відділення олії від гелевої частинки може бути представлено наступним чином. Вихідна мезга містить велику кількість олії на поверхні частинок та усередині них, а самі частинки розділені повітряними проміжками (рис.1.11 а). В початковий період всебічного стиснення мезги, хоча і починається деформація частинок і з'єднання їх в місцях окремих контактів, відночас переважає процес витиснення повітря і зменшення проміжків між частинками (рис. 1.11 б).

Основна кількість олії віджимається при значному ущільненні самих частинок – їх деформації і з'єднанні. Коли зближуються внутрішні поверхні частинок, відбувається відділення олії вже з їх внутрішніх поверхонь. При зближенні внутрішніх і зовнішніх поверхонь, проміжки між частинками значно зменшуються і повністю заповнюються олією (рис. 1.11 в). При різкому зменшенні поперечного перерізу проміжків, що залишилися між частинками, коли на наближених поверхнях залишаються мономолекулярні прошарки олії, віджимання припиняється, так як адсорбовані плівки олії не можуть бути віджатими (рис. 1.11 г). Після зняття тиску, під дією пружних деформацій у макусі утворюються дрібні пори або великі тріщини. Тому можливе зворотнє вбирання олії, яка ще не витекла з пресу (рис. 1.11 д) [2].

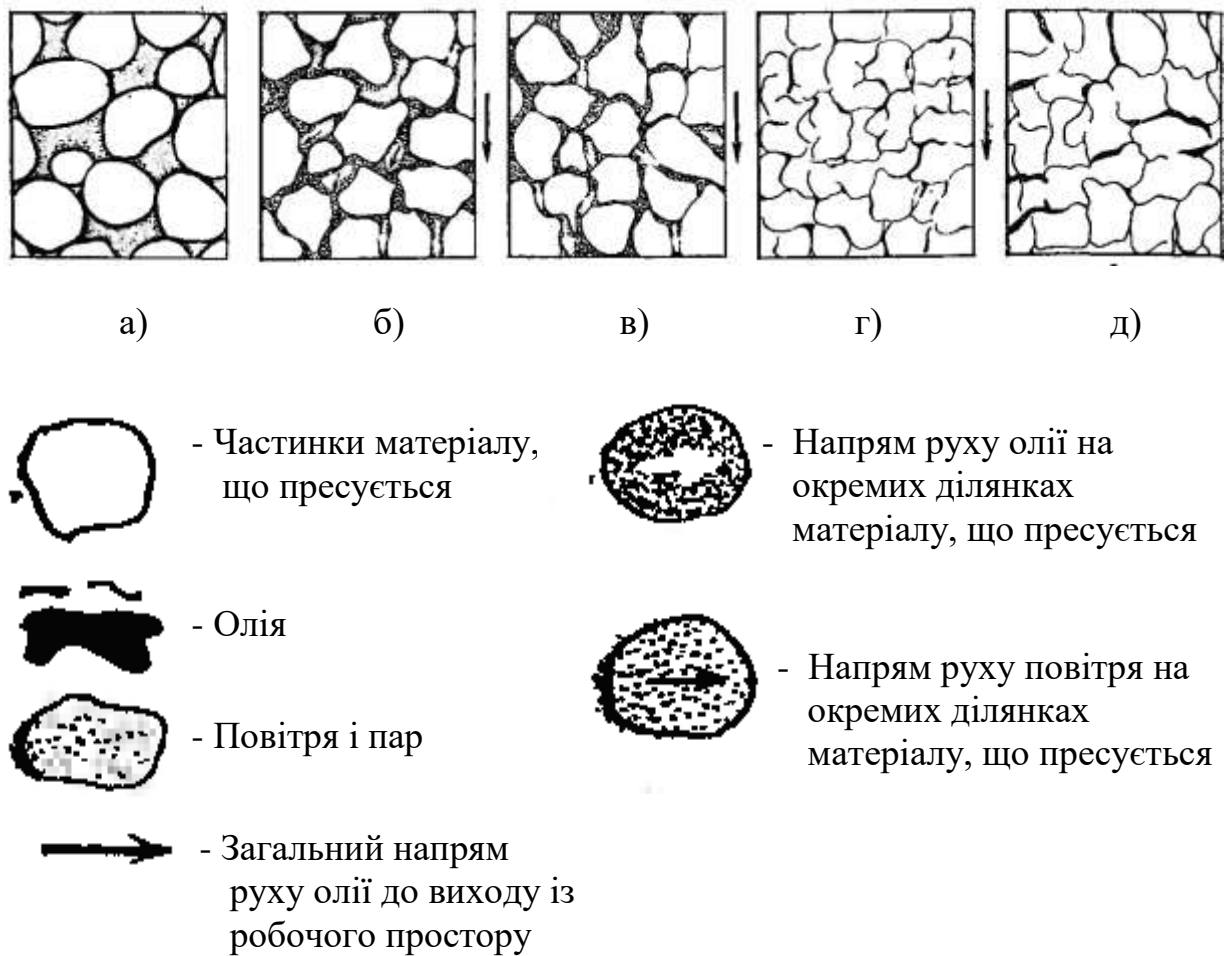


Рисунок 1.11 – Спрощена схема процесу віджимання олії за всебічного стиснення матеріалу [2]

Питаннями пресування олійного насіння у пресах займалися такі відомі вчені, як: Скипин А.І., Голдовський А.М. [2, 99], Белобородов В.В. [43], Масликов В.А. [100-102], Копейковський В.М [42], Кичігін В.П. [103], Кошевой Е.П. [104], Рогатинський Р.М. [10], Гевко Б.М. [11], та інші.

Існує два методи виробництва рослинних олій способом пресування (рис. 1.10): а) пресування за низьких температур (холодне пресування) та б) пресування за високих температур (гаряче пресування) [49, 105-108].

Найбільш цінними з біологічної точки зору є нерафіновані олії холодного віджимання. В них найбільш повно зберігаються такі цінні компоненти, як: лецитини, вітаміни, незамінні амінокислоти, мінеральні речовини, полі ненаситні жирні кислоти (омега 3 та омега 6) [105, 109]. Однак, недоліком холодного методу є наступне. Якщо подрібнене олійне насіння направити після вальцевого верстату (розділ 1.2) у прес, то, не дивлячись на великий тиск, що буде створюватися у пресі, вдається отримати невелику кількість олії, що знаходиться у м'ятці [80, 108]. Окрім цього, рицинова олія є суто технічним продуктом [45, 46], тому збереження компонентів, які є цінними для організму людини [105, 109] не потрібне.

При застосуванні гарячого методу пресування м'ятка насіння рицини перед самим пресуванням піддається волого-тепловій обробці із забезпеченням оптимальних параметрів такого процесу (розділ 1.3.2). В результаті цього, вдається послабити сили міжмолекулярної взаємодії, які тримають олію в м'ятці. І, відповідно, при подальшому пресуванні, це забезпечує отримання більшої кількості олії у порівнянні із холодним методом пресування. Ці фактори є визначальними при виборі методу пресування насіння рицини.

Існуючі преси, згідно [7, 110-114] можна розділити (рис. 1.10):

- за конструктивним виконанням: шнекові, гідравлічні;
- за технологічним призначенням: форпреси, експелери, преса подвійної дії;

- за кількістю робочих шнекових валів в одному пресі: одношнекові, багатошнекові;

- за конструктивним виконанням робочих органів: зі змінним кроком гвинта, зі змінним діаметром робочої камери, зі змінною висотою пресувальних витків; зі змінним діаметром робочої камери та зі змінним кроком гвинта.

Патент на гідравлічний прес для віджимання рослинних олій був отриманий у Англії Джозефом Бромахом у 1795 р. Після цього, отримання олії на гідравлічних пресах стало домінуючим і продовжувалось до початку ХХ століття [115]. Принцип дії таких пресів заснований на розвиненні зусилля, достатньому для вилучення олії у бункері, де знаходиться олійний матеріал. Олія витікає через отвори бункера. Однак, такі преси мали велику кількість недоліків: періодичність процесу пресування, наявність великої кількості додаткового обладнання (гідравлічні насоси, формувальні апарати для формування пакетів з мезгою перед завантаженням у гідравлічний прес, макухообрізавачі) та ін. [42]. На даний час гідравлічні преси відносяться до пресів перервної дії і можуть застосовуватися при виробництві олії в дуже невеликих кількостях [88], наприклад у лабораторних умовах.

Сучасне апаратне оформлення пресового способу виробництва олій пов'язано із застосуванням шнекових пресів. Форпреси застосовують для попереднього віджимання олії, експелери – для остаточного, а преси подвійної дії – коли в одній машині здійснюється попереднє й остаточне віджимання олії [49, 114]. В данній дисертаційній роботі пропонується зменшити олійність макухи насіння рицини після проведеної воло-теплової обробки за рахунок першого (попереднього) пресування із забезпеченням відповідної його олійності (вступ до розділу 1). Цей фактор є вирішальним при виборі форпресового способу в подальших дослідженнях.

Основними робочими органами шнекових пресів є шнековий вал і зеєрний циліндр. Просування матеріалу через прес має складний характер. Вивчення руху олійного матеріалу у зеєрних каналах пресів відображено у

роботах [2, 5]. Встановлено, що під час пресування у шнекових пресах, можливо два небажаних варіанти руху матеріалу: обертальний і аксіально-поступальний. Обертальний рух можливий у тому випадку, коли тертя між матеріалом і витком та між частинками матеріалу більше, ніж тертя матеріалу об циліндричну поверхню зеєру. Аксіально-поступальний рух (часткове прокручування матеріалу разом з валом за деякою спіраллю) можливий, якщо сили тертя між матеріалом і шнековими витками, а також між матеріалом і зеєром в осьовому напрямку є близькими до нуля, а сила тертя між матеріалом і внутрішньою поверхнею зеєра в тангенціальному напрямку має кінцеве значення.

На ефективність роботи пресів впливають три складові: якість попередньої обробки пресованого матеріалу (розділ 1.3), конструктивні та технологічні параметри пресу (температура, тиск, що розвивається у пресі, тривалість процесу пресування) [5, 40, 42, 106].

У якості показника, що характеризує ефективність роботи пресів, використовують показник олійності залишкової макухи [7, 103]. Він дорівнює відношенню ваги олії m_2 , що залишилася у макусі після пресування, до ваги макухи m_1 [116]:

$$\eta = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

Температура процесу пресування мезги є одним з основних факторів, що впливає на ефективність роботи пресу [42, 117-119]. Підвищений вихід олії забезпечується за попереднього нагріву робочої зони пресу перед надходженням мезги до каналу. На холодному, не розігрітому пресі неможливо забезпечити формування міцної макухової ракушки і необхідну глибину віджиму. Однак, за проходження олійної сировини через робочу зону пресу відбувається її тертя об гвинтові робочі органи, зеєрний циліндр та тертя частинок мезги між собою. Унаслідок цього, здійснюється

додатковий нагрів мезги, що знаходиться в каналі [118, 120]. Окрім цього, мезга, що подається до каналу, після проведеної попередньої волого-теплової обробки (розділ 1.3), має відповідну температуру нагріву. Відповідно, загальна температура мезги, що знаходиться в каналі, підвищується [120]. Підвищена ж температура в зерному просторі під час віджимання олії обумовлює підгоряння поверхні макухи, що сприяє денатурації білків та підвищенню її олійності, а відповідно, і зменшенню продуктивності [42, 117-119]. Всі ці фактори потребують врахування і подальшого підтримання встановленої температури протягом роботи пресу [106, 120].

Аналіз чинних шнекових пресів для попереднього віджимання олії дозволив виділити наступні конструкції. Зерний циліндр форпресу ФП (рис. 1.11) виконаний із декількох ступенів із різними діаметрами барабану. Шнековий вал за напрямом до виходу матеріалу, що пресується, виконаний із зменшенням кроку витків та із збільшенням діаметру тіла шнеку [5, 50]. Таку ж конструкцію із відповідними конструктивними змінами має і прес МП-68 [50].

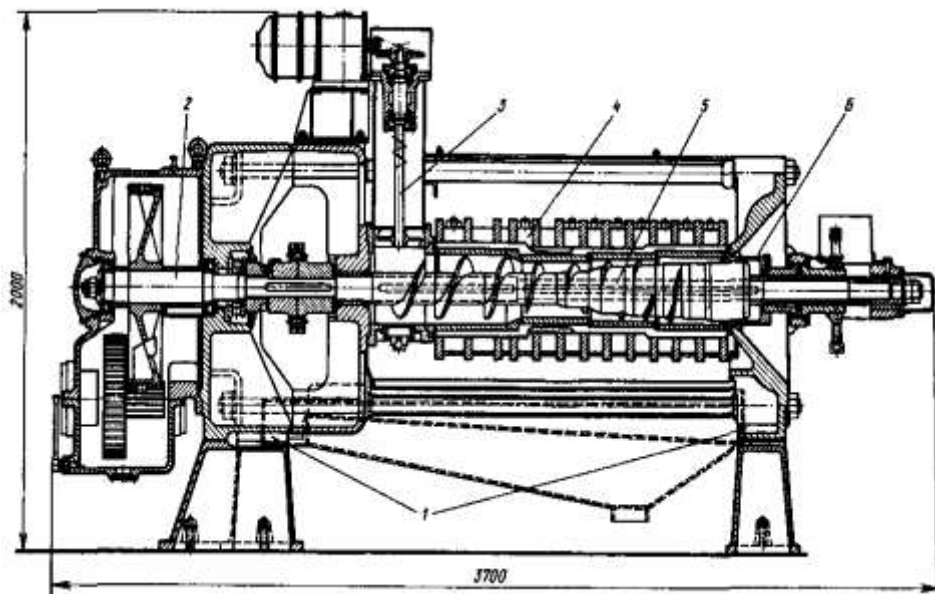


Рисунок 1.11 – Конструктивна схема форпресу ФП [50]

За даними [5], у пресові МП 63 (рис. 1.12 а) шнековий вал – це звичайний ступеневий вал, на якому у визначеному порядку насаджені дев'ять витків шнеку. За направленням до виходу мезги вільний простір між

витками зменшується за рахунок змінення діаметра витка, діаметра його тіла і кроку витка. Такий же ступеневий вал має олієпрес ММП-150/50, в результаті чого створюється конусність, необхідна для поступового зменшення об'єму зерра. Крок витків не змінюється [121]. У пресі «Дуплекс» типу Е зерний циліндр безступеневий, має за довжиною однаковий діаметр. Змінюється діаметр шнекового валу та крок витків (рис. 1.12 б) [103].

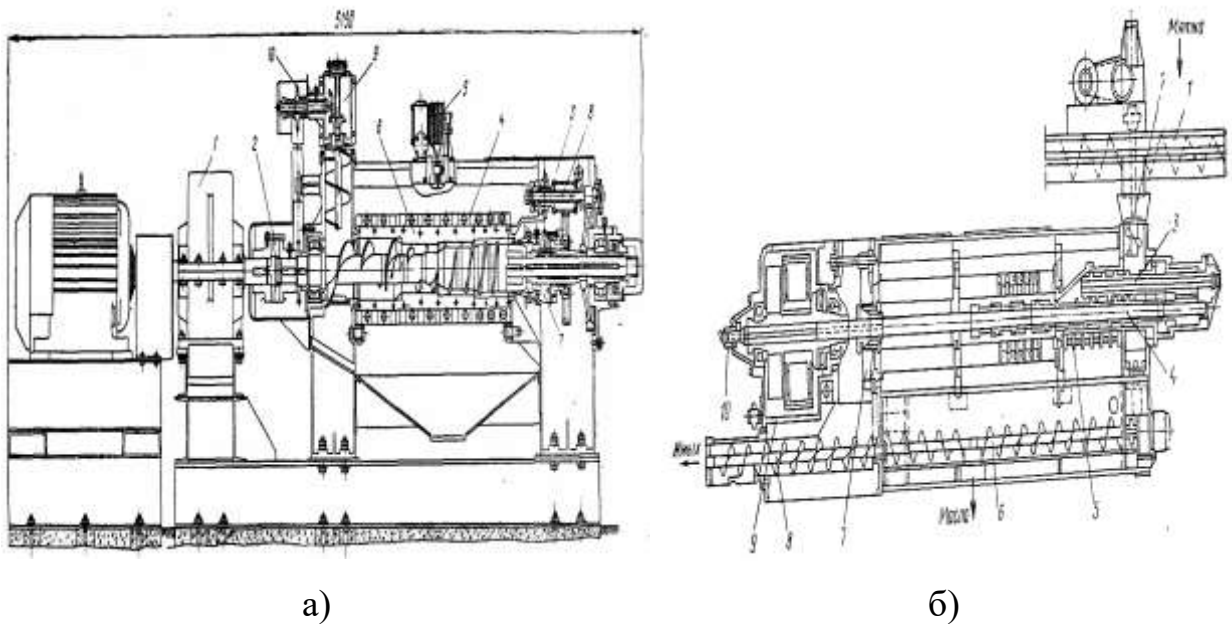


Рисунок 1.12 – Конструктивна схема форпресів:
а) МП-63; б) «Дуплекс» типу Е [5, 103]

Такі ж конструктивні зміни шнекових валів та зерних циліндрів мають більш сучасні преси, що виробляються промисловістю України (рис. 1.13) з урахуванням продуктивності типів УЕП (рис. 1.13 а) [122], ММШ (рис. 1.13 б) [123] та МПШ (рис. 1.13 в) [124] тощо.

Аналізом шнекових пресів закордонних держав виявлено схожість конструкцій із вітчизняними. Так, за даними [125], типи пресів КР 15, КР 21, MINI 100, MINI 200, 40-1, Heizopress S1, та інші, що виготовляються у Данії (рис. 1.14 а). мають діаметр шнекового валу, що змінюється ступенево без зміни діаметру зерного циліндру (рис. 1.14 а). Конструкція основних

елементів повторюється і в пресах виробництва Komet (Німеччина) (рис. 1.14 б) [126].

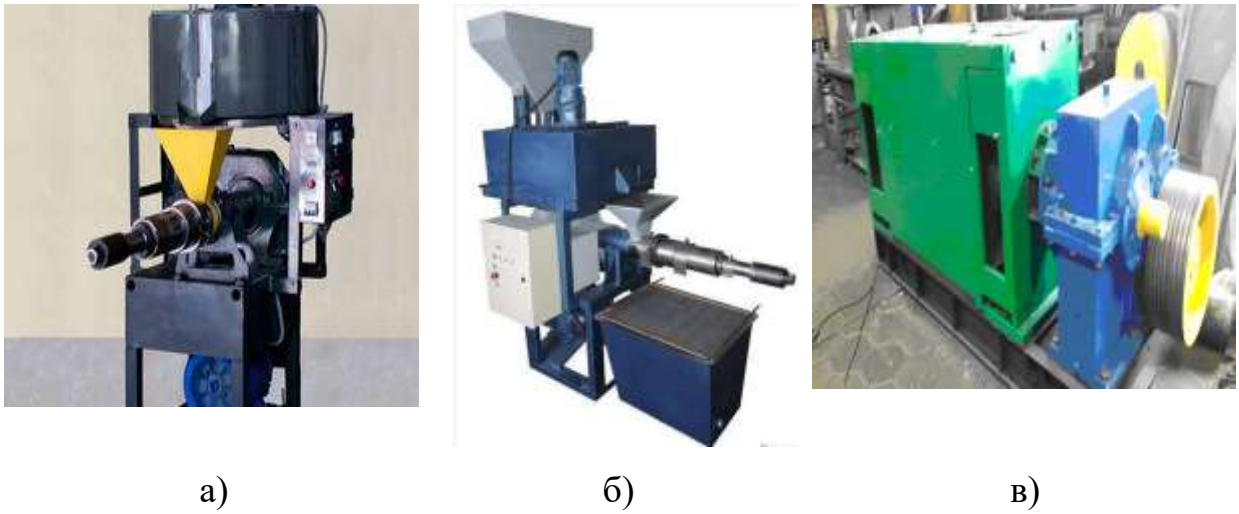


Рисунок 1.13 – Загальний вигляд пресів випуску України типів: а) УЕП; б) ММШ; МПШ [122-124]

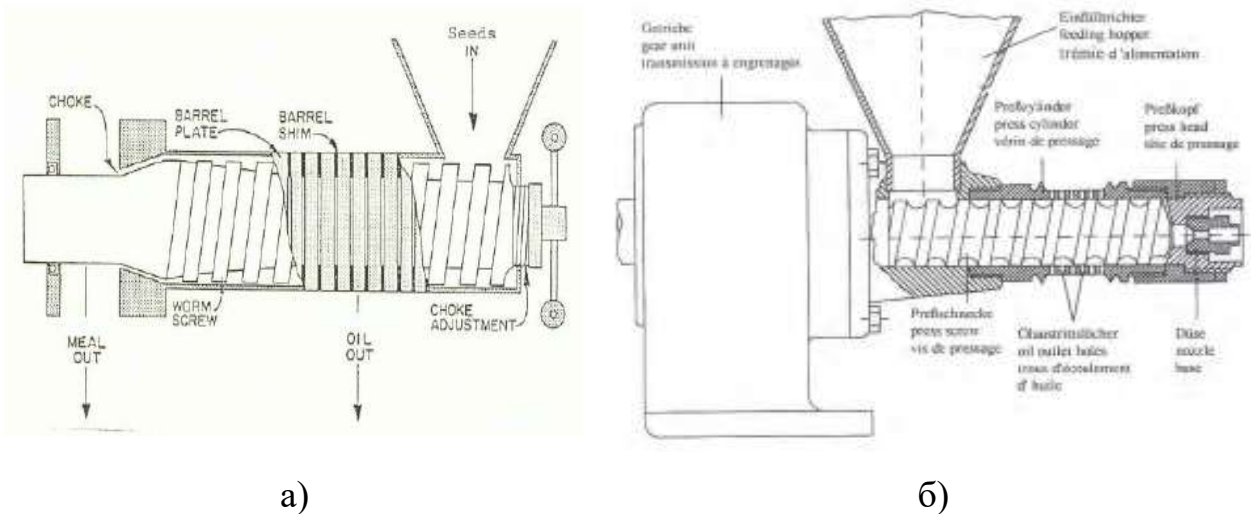
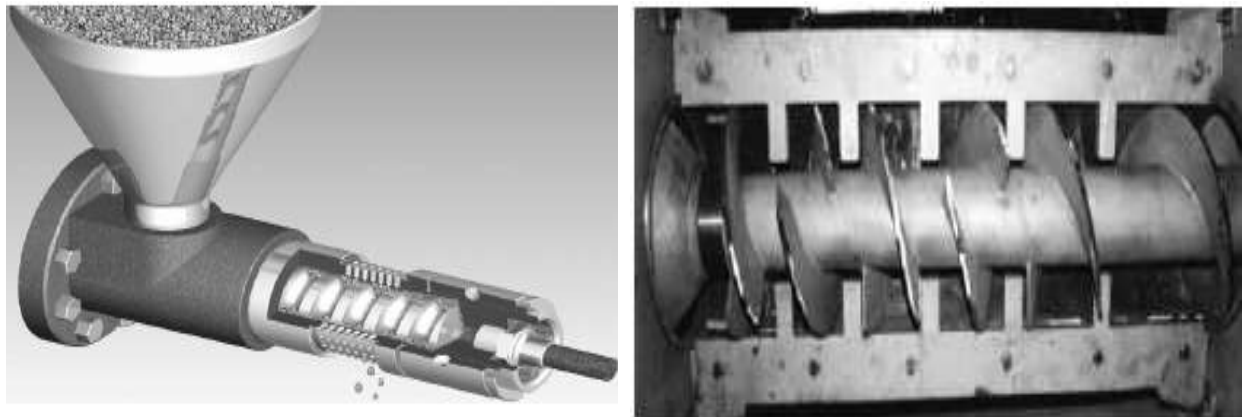


Рисунок 1.14 – Конструктивне виконання пресів: а) виробництва Данії [125]; б) виробництва Німеччини [126]

У пресах компанії IBG Monforts (Німеччина) [127] шнековий вал виконаний зі змінним кроком. Але зона відводу олії у зерному циліндрі знаходиться далеко від зони відводу макухи. Це зменшує забивання отворів і суха макуха тільки продавлюється через сопло зерного циліндру (рис. 1.15 а).

Шнекові преси виробництва США мають конструкції шнека із постійним і змінним безступеневим діаметром валу шнеку та постійним і змінним кроком гвинта. Так, наприклад, компанією Vinsent Corporation (США) [128] шнековий вал виконаний із кроком, що поступово зменшується у середині зерного циліндра без зміни його діаметру. У пісумку збільшується тиск стиснення матеріалу (рис. 1.15 б). Але, конструкція витків має переривання і до кожного переривання підходять два зубця зерного циліндра. Таке конструктивне рішення запобігає заклинюванню шнекового пресу [128].



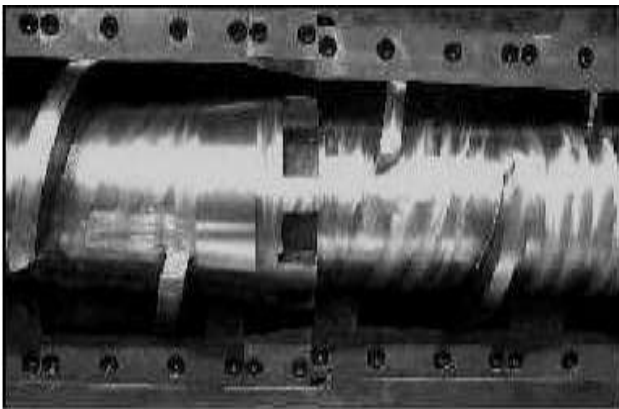
а)

б)

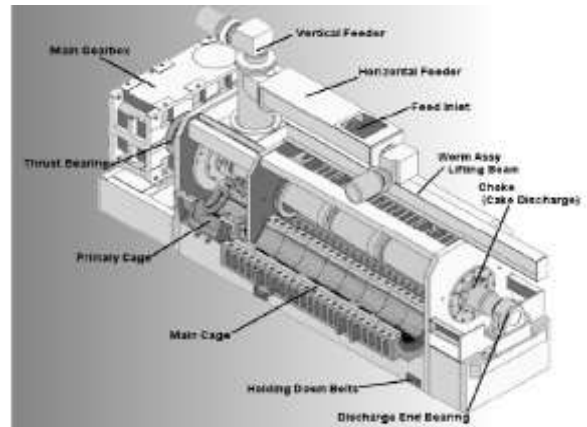
Рисунок 1.15 – Детальне зображення шнекових валів пресів виробництва компаній: а) – IBG Monforts (Німеччина) [127]; б) – Vinsent Corporation (США) [128]

Шнекові вали (рис. 1.16 а) пресів компанії Rosedowns (Англія) (рис. 1.16 б) мають багатоступеневе стиснення, що застосовується для зменшення необхідного тиску. За досвідом компанії, багатоступеневий вал з більш низьким діаметром забезпечує значне підвищення продуктивності, терміну служби і енерговитрат. На стадії стиснення шнековий вал стає конусоподібним у тому місці, де зменшується внутрішній діаметр циліндру. Відповідно, тиск збільшується у зменшеній кільцевій області, що призводить до стиснення насіння [129].

Що стосується шнекових машин із декількома шнековими валами, то у виробництві найчастіше використовуються двогвинтові. Вони характеризуються більш корисною поверхнею у розрахунку на об'єм матеріалу та забезпечують примусове його просування. Окрім цього, за допомогою двошнекових машин можна спростити технологію переробки насіння олійних культур, використовуючи поєднання операцій подрібнення, термомеханічної обробки (при визначеному розташуванні шнекових валів) та віджимання олії в одній машині [114, 130]. Такі преси можуть працюють одразу у форпресовому та експелерному режимі. Для цього, зазор між зєєрними пластинами виконаний змінним і постійно зменшується у напрямку виходу макухи [130].



а)



б)

Рисунок 1.15 – Шнековий прес компанії Rosedowns (Англія):
а) вид шнекового валу; б) – детальне креслення шнекового пресу [129]

Технічно преси виготовляються з обертанням обох шнекових валів в одну сторону або назустріч один іншому та з двома вузлами завантаження матеріалу для компенсації осьового навантаження [112]. Конструкція шнекових валів двошнекових машин однакова із одношнековими. Так, наприклад, за даними [120], застосовується двогвинтовий прес, у якого використовуються шнекові вали із різним кроком за його довжиною. Автором роботи [131] запропоновані шнекові вали пресу зі змінним кроком, різною товщиною витків та обертанням валів в одну сторону (рис. 1.16).

Однак, такі машини мають більш складну конструкцію, що збільшує їх собівартість. Знижується якість забезпечення контролю технологічних величин матеріалу, що досліджується (ступінь подрібнення, температура мезги у пресі тощо). Тому, на даному етапі, ці фактори ускладнюють застосування таких пресів для пресування мезги насіння рицини.

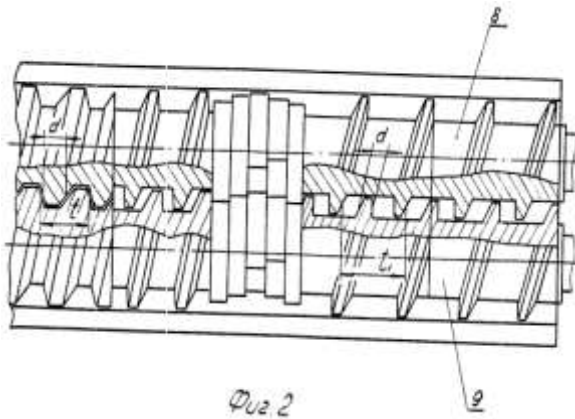


Рисунок 1.16 – Загальний вигляд шнекового пресу із двома шнековими валами (вид зверху) [131]

Над підвищенням ефективності роботи шнекових пресів займалися і продовжують займатися багато вітчизняних та закордонних вчених [132-144 та ін.]. Але, в літературі практично відсутні данні щодо ефективності застосування шнекових пресів при пресуванні саме насіння рицини. Ті данні, що є, в джерелах літератури відносяться до 50-60 років минулого століття для пресів застарілих модифікацій дуже великої продуктивності (близько 50 т/на добу) [наприклад, 70]. З урахуванням відмінних властивостей насіння рицини (розділ 1.1) від інших культур, стверджувати, що нові, більш вдосконалені конструкції пресів підвищать ефективність пресування рицини – не можна. Тому і постає актуальна задача пошуку таких оптимальних конструктивних та технологічних параметрів шнекових пресів, за допомогою яких буде збільшено ефективність пресування насіння рицини.

Проаналізувавши конструкції шнекових пресів, можна стверджувати, що всі конструктивні зміни окремих елементів різних конструкцій шнекових пресів направлені на поступове зменшення вільного об'єму між пресувальними витками за ходом мезги у зєєрному просторі шнекового пресу. В результаті того, що у вільному об'ємі пресувальних витків, що безперервно зменшуються, знаходиться мезга, то буде створюватися тиск на неї. В свою чергу, за рахунок скорочення зовнішньої поверхні мезги по мірі

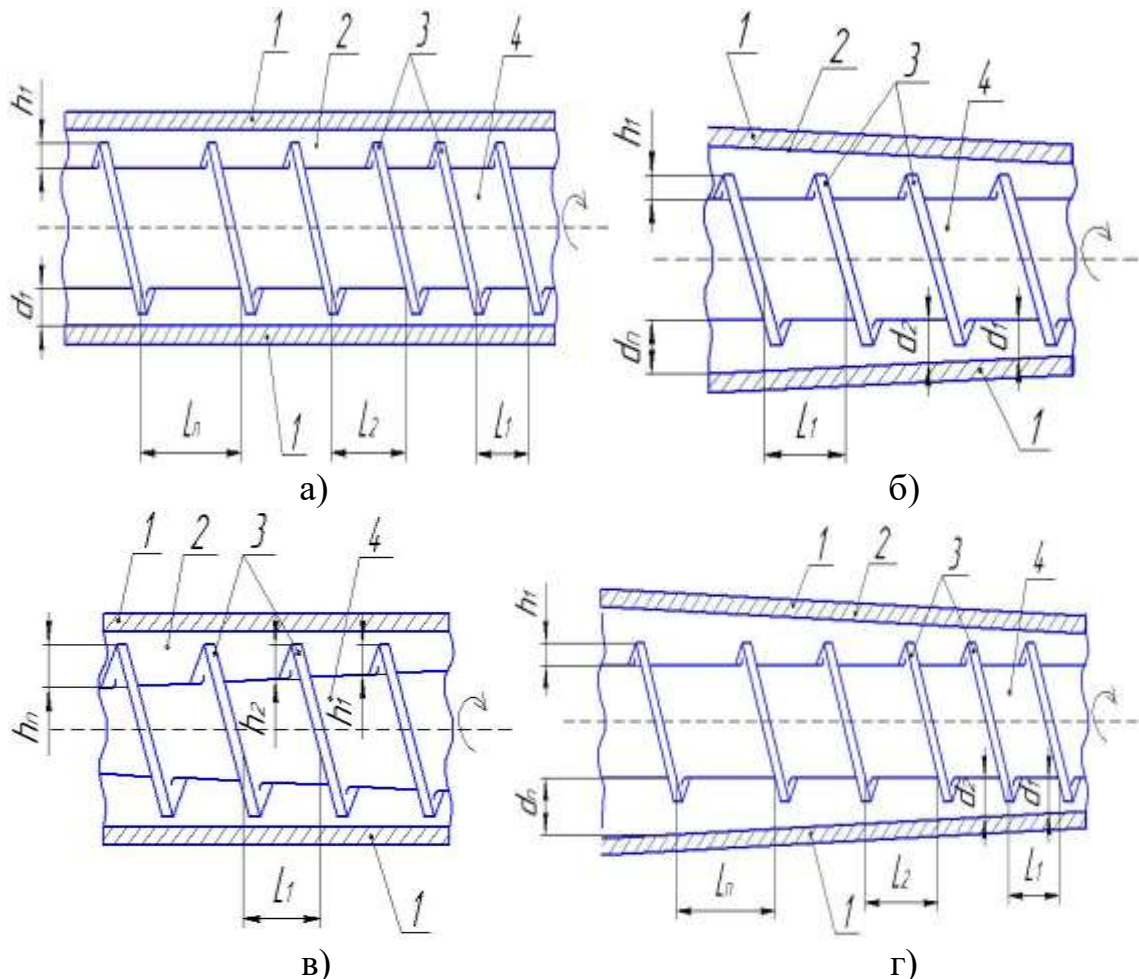
просування за шнековим валом, вона буде піддаватися стисненню і відповідно, буде відбуватися виділення олії [5]. Характер зміни вільного об'єму витків шнекового валу характеризує правильність його конструкції, правильність розмірів витків і зеєрного барабана, що безпосередньо впливають на вихід олії [40]. Відповідно, тиск, що розвивається у пресі визначається, по перше, властивостями готової мезги (розділ 1.1), а по друге – конструктивними особливостями самого шнекового пресу. Тому, підвищити ефективність шнекового пресу при пресуванні насіння рицини можна за рахунок отримання оптимального вільного об'єму пресувальних витків.

Але, вільний об'єм пресувальних витків буде залежати від продуктивності шнекового пресу. Тому, для унеможливлення такої залежності, зміну вільного об'єму між пресувальними витками на n -му пресувальному витку можна виразити через відносний показник – ступінь стиснення, що визначається відношенням вільного об'єму попереднього витка до вільного об'єму наступного [40].

Узагальнюючи вище сказане, конструктивно змінити вільний об'єм пресувальних витків за довжиною шнекового вала можна здійснити за допомогою відповідного конструктивного виконання робочих органів (зеєрного циліндру та шнекового валу з пресувальними витками). Конструктивні зміни у цих робочих органах можна здійснити наступним чином: змінити відстань (крок гвинта) між пресувальними витками (рис. 1.17 а); змінити діаметр робочої камери (рис. 1.17 б); змінити висоту пресувальних витків (рис. 1.17 в); змінити діаметр робочої камери та змінити крок гвинта (рис 1.17 г) [42, 145].

Ефективність роботи пресів також значно підвищується, якщо внутрішня поверхня зазору між зеєрними пластинами не закрита нерухомим шаром матеріалу [103]. Очищення внутрішньої поверхні зеєру і запобігання закупорювання зазору між зеєрними пластинами для виходу олії досягається з однієї сторони у зв'язку з проштовхуванням шнековими

витками пресувального матеріалу всередині зеєру та, з іншої, - спеціальною конструкцією зеєрних пластин і встановлюванням їх таким чином, щоб кожна попередня пластина своїм виступаючим бортиком нависала над щілиною між зеєрними пластинами, і завдяки цьому, залишалася відкрита щілина для виходу олії [103]. Це можна досягти за допомогою відповідного зазору між з пластинами зеєрної планки. Однак, за надмірно збільшеного зазора між зеєрними пластинами, відділення олії із мезги насіння знижується, що пов'язано з тим, що через зазор фільтруються і дрібні частинки мезги [117].



1 – зеєрний циліндр; 2 – кільцевий проміжок; 3 – пресувальні витки;
4 – вал; $L_1, L_2 \dots L_n$ – відстань між пресувальними витками; $d_1, d_2 \dots d_n$ – діаметр робочої камери; $h_1, h_2 \dots h_n$ – висота пресувальних витків

Рисунок 1.17 – Конструктивне виконання шнекових пресів:

- а) – зі змінним кроком гвинта; б) – зі змінним діаметром робочої камери;
в) – зі змінною висотою пресувальних витків, г) – зі змінним діаметром робочої камери та змінним кроком гвинта [145]

Таким чином, розробка нових конструкцій шнекових пресів, здатних активно забезпечувати пресування мезги насіння рицини, дозволить забезпечити та підвищити ефективність пресування, що є одним із завдань при визначенні основних конструктивних параметрів і технологічних режимів процесу.

1.5 Висновки до розділу 1 і постановка задач дослідження

В результаті проведеного аналізу технологій та обладнання для віджимання олії із насіння рицини можна зробити деякі висновки:

1. Встановлено, що мезга насіння рицини, яка подається на пресування повинна відповідати необхідним параметрам. Для забезпечення цих параметрів, встановлено вимоги до попередніх операцій обробки насіння рицини: щодо якості обрушення і розділення рушанки рицини, якості подрібнення рушанки у м'ятку та параметрів волого-теплової обробки м'ятки рицини у мезгу.

2. Існуючі конструкції пресів не враховують особливі фізико-механічні та реологічні властивості насіння рицини при пресуванні її мезги.

3. Ефективними пресами є шнекові з одним пресувальним шнековим валом, які забезпечують високу якість процесу віджимання олії з олійного насіння.

4. Встановлено, що основною рушійною силою процесу віджимання є тиск у пресі, що розвивається з першого по останній пресувальний виток шнекових пресів. По мірі просування мезги за шнековим валом, змінюється конструктивний параметр – вільний об'єм між пресувальними витками, який притаманний абсолютно всім конструкціям шнекових пресів.

5. Встановлено, що оптимальні температура пресування та зазор між пластинами зерної планки забезпечить підвищення ефективності пресування олії із насіння рицини.

У результаті узагальнення, а також аналізу відомих досліджень встановлена тема дисертаційної роботи, яка передбачає обґрунтування технологічних режимів і конструктивних параметрів шнекових пресів для віджиму олії із насіння рицини

Визначені наступні завдання:

- провести аналіз та розробити класифікацію існуючих способів, пристроїв та конструкцій робочих органів, визначити ступінь впливу факторів в елементах конструкцій шнекових пресів на показники якості процесу отримання рицинової олії;
- розробити математичні моделі тиску мезги та фільтрації олії в каналі шнекового пресу при пресуванні насіння рицини з обґрунтуванням параметрів процесу.
- розробити та обґрунтувати конструктивно-технологічну схему експериментального комплексу для віджимання олії із олійної сировини, виготовити стенд та скласти методичку проведення випробувань.
- оптимізувати технологічні та конструктивні параметри окремих пресувальних витків шнекового пресу для пресування мезги насіння рицини; експериментально визначити фільтраційні характеристики твердої фази мезги насіння рицини та встановити режими фільтрування олії через зєєрні пластини кожного витка шнекового пресу;
- встановити закон стиснення мезги насіння рицини, необхідну кількість пресувальних витків шнекового преса та ефективність процесу пресування при віджиманні рицинової олії;
- визначити техніко-економічну ефективність використання експериментального зразка шнекового пресу.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ МЕЗГИ НАСІННЯ РИЦИНИ У ШНЕКОВИХ ПРЕСАХ

2.1 Структура математичної моделі пресування мезги насіння рицини у шнекових пресах

При розробці, проектуванні і створенні шнекових пресів для пресування рицини потрібні знання про кількісні і якісні закономірності, що властиві даним системам. Ці відомості можуть бути отримані на базі методу математичного моделювання.

Типовими завданнями моделювання є: структурний синтез, структурний аналіз, параметричний синтез, параметричний аналіз і комбіновані завдання (структурний синтез і аналіз, параметричний синтез і аналіз, структурно-параметричний синтез, структурно-параметричний аналіз). В загальному вигляді умови, що формуються для вирішення проектної задачі, визначають тип, кількість і порядок виконання перерахованих вище типових задач [146].

При побудові математичних моделей пресування мезги насіння рицини використано два напрямки: структурний синтез та параметричний синтез. На основі структурного синтезу визначено із яких структурних елементів (особливостей об'єкту, що моделюється) формується агрегатна база об'єкту, що проектується (шнекового пресу). Після формування агрегатної бази об'єкту виникає необхідність синтезу схеми відбору із зазначенням параметрів, які забезпечують найвищий вихід олії при пресуванні. Для цього використовується параметричний синтез, де задаються параметри і характеристики елементів моделі, облік додаткових факторів, які забезпечуються завданням відповідних ознак. Розроблена структура математичної моделі шнекового пресу для пресування мезги насіння рицини представлена на рис. 2.1

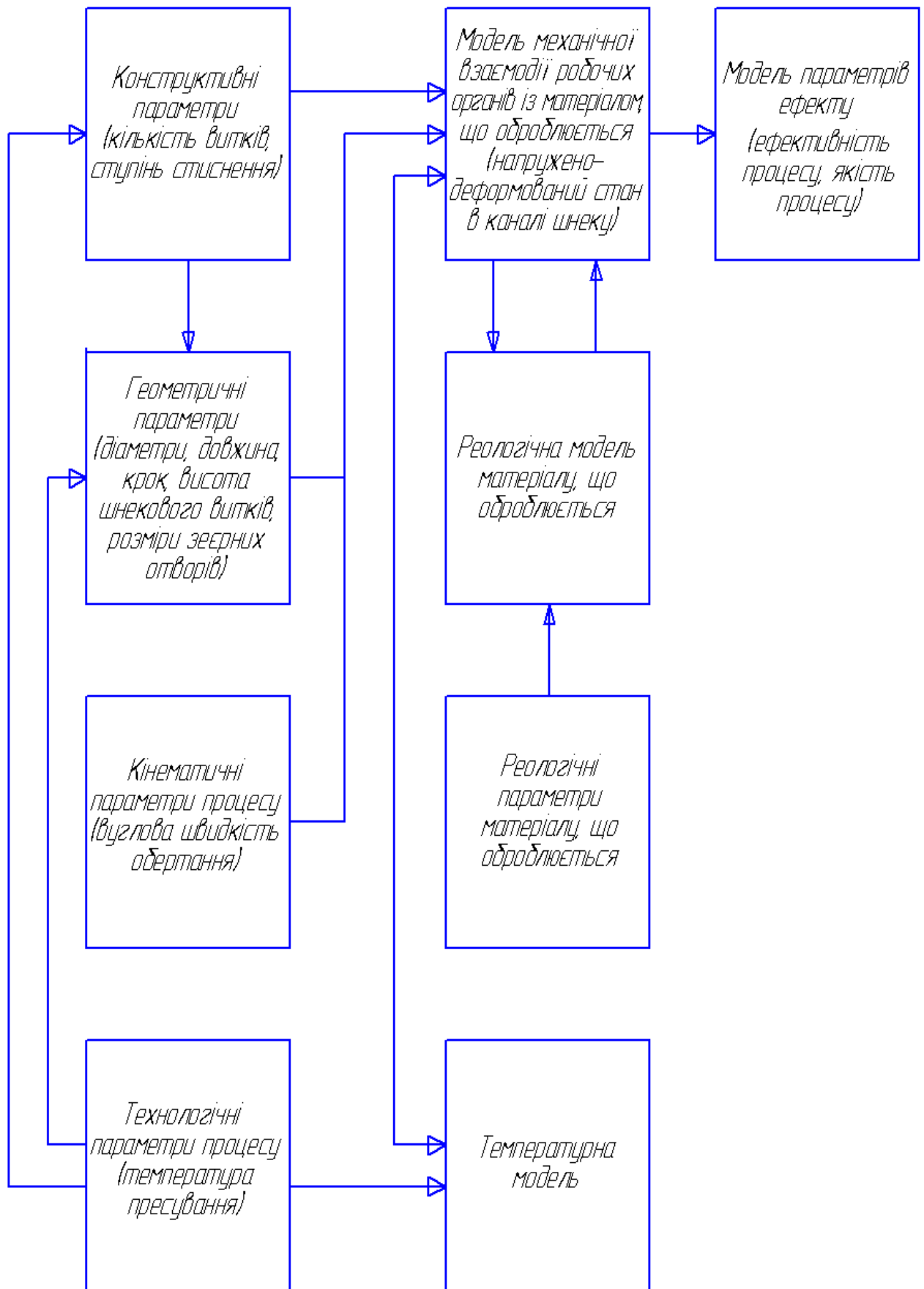


Рисунок 2.1 – Структура математичної моделі шнекового пресу для пресування мезги насіння рицини

Аналіз розробленої структури математичної моделі (рис. 2.1) свідчить, що складовими, які можуть впливати на максимальну ефективність і якість процесу (модель параметрів ефекту) є конструктивні, геометричні, кінематичні, технологічні та реологічні параметри процесу. Таким чином, обґрунтування необхідних параметрів процесу пресування мезги рицини підвищить ефективність пресування, а відповідно, і збільшить продуктивність шнекових пресів.

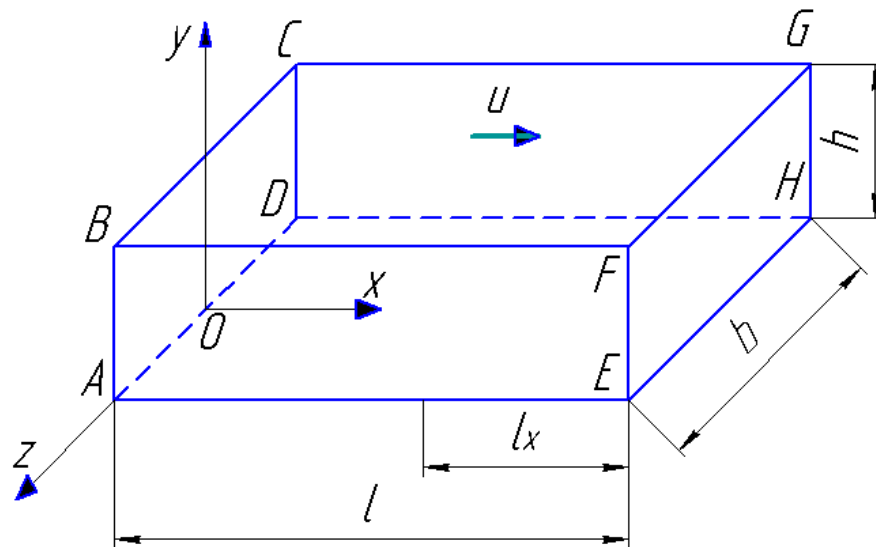
2.2 Математична модель тиску в каналі при віджиманні олії із мезги насіння рицини

Розглянемо процес віджимання рицинової олії як течію двокомпонентного в'язкого стискуваного середовища. Пропонується розглядати віджимання як процес фільтрації рідинного компонента суміші крізь пористе середовище, яке підпорядковується закону Дарсі.

При побудові моделі будемо розглядати процес як неізотермічний, в основі якого лежить зміна масової концентрації рідини і вихід рідкої компоненти за межі каналу. Сам процес віджимання пропонується розглядати як сукупність усталеної одномірної течії в'язкої суміші і процесу фільтрації олії.

Саму суміш пропонується розглядати як об'єднання двох компонентів, що не стискаються – олії і мезги. При цьому, поверхня зерної камери, де відбувається вихід олії за межі каналу, будемо вважати такою, що є непроникною для мезги і повністю проникною для олії.

Враховуючи роботи [147-148], де запропоновано підхід, відповідно до якого течію в каналі розглядають як процес, за якого шнек вважається нерухомим, а корпус обертається, розгорнемо шнек на площині, замінивши таким чином, течію суміші у пресі на течію в прямому каналі прямокутного перетину. Декартові системи координат введемо таким чином, як показано на рис. 2.2.



l – довжина розгорнутого каналу, м; l_x – довжина зерної камери, м;
 b – ширина каналу, м; h – висота каналу, м; u – проекція швидкості на
 продольну вісь розгорнутого каналу

Рисунок 2.2 – Розгорнутий канал шнеку

Суміш розглядаємо як ньютонівську рідину із в'язкістю, якій відповідає швидкість зсуву куетовської течії, так як при напірних течіях у шнеках середня швидкість зсуву близька до швидкості зсуву куетовської течії.

Представимо течію суміші в каналі як суперпозицію ненапірної (течія Куета) течії, яка відбувається за рахунок верхньої стінки каналу та протилежної їй напірної течії (течія Пуазейля), яка виникає як протидія зі сторони вихідного каналу шнеку [149-150].

Введемо позначення: $Q(x)$ – загальні об'ємні витрати напірної течії у каналі, $Q_k(x)$ - об'ємні витрати ненапірної течії (куетовські витрати рідини), $Q_p(x)$ - об'ємні витрати напірної течії (пуазейлевські витрати рідини), $P(x)$ - тиск в суміші, який створюється при її стисненні.

Тоді, згідно [147]:

$$Q(x) = Q_k(x) - Q_p(x), \quad (2.1)$$

Як відомо, об'ємні витрати не напірної течії визначаються шляхом інтегрування компоненти V_x вектора швидкості суміші по перетину каналу [151]:

$$Q_k(x) = \int_0^b \int_0^h V_x \partial l \partial y, \quad (2.2)$$

де $V_x = V \cos \varphi$ – проекція вектора швидкості V на вісь каналу;

φ – кут нахилу витка шнека, град;

$V = \frac{\omega D}{2}$ – швидкість руху стінки каналу, м/с;

ω – кутова швидкість руху стінки каналу, рад/с;

D – зовнішній діаметр шнеку, м.

Також, необхідно враховувати ефект прилипання суміші до бічних стінок каналу шляхом введення коефіцієнта c_{bh} , який залежить від пропорції b/h і визначається шляхом експериментальних досліджень, як запропоновано в роботі [152].

Таким чином, маємо [152]:

$$Q_k(x) = c_{bh} b h \frac{\omega D \cos \varphi}{2}. \quad (2.3)$$

Розглянемо об'ємні витрати напірної течії $Q_p(x)$. Цю величину можна знайти із виразу

$$Q_p(x) = h b V(x). \quad (2.4)$$

Як відомо [153], залежність перепаду тиску в каналі від параметрів перетину цього каналу та інших величин має вид:

$$\Delta P_1 = \frac{10\mu}{3g} l \cdot V \frac{A^2 + B^2}{A^2 B^2}, \quad (2.5)$$

де ΔP_1 – перепад тиску, м;

A, B – розміри каналу прямокутного каналу (напіввісі), м;

l – довжина каналу, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

μ – кінематична в'язкість рідини, м²/с

w – середня швидкість руху рідини, м/с.

З урахуванням [154], змінюючи $l = \Delta x$, $A = \frac{h}{2}$, $B = \frac{b}{2}$, помноживши на щільність рідини ρ і прискорення вільного падіння g , а також враховуючи формулу (2.4), отримаємо:

$$\Delta P = \frac{40}{3} \mu_0 V \frac{h^2 + b^2}{h^2 \cdot b^2} \Delta x; \quad (2.8)$$

де μ_0 - динамічна в'язкість рідини, Па·с

Перетворимо цей вираз, з урахуванням, що $h \cdot b = \frac{Q_p(x)}{V}$ і отримаємо:

$$\frac{\Delta P}{\Delta x} = \frac{40}{3} \mu_0 Q_p(x) \frac{h^2 + b^2}{h^3 \cdot b^3}. \quad (2.9)$$

При граничному переході (коли $\Delta x \rightarrow 0$), отримаємо градієнт тиску в каналі:

$$\frac{dP(x)}{dx} = \frac{40}{3} \mu_0 Q_p(x) \frac{h^2 + b^2}{h^3 \cdot b^3}. \quad (2.10)$$

Після перетворень, з урахуванням, що $Q_p(x) = c_{bh} b h \frac{\omega D \cos \varphi}{2} - Q(x)$, отримаємо формулу залежності градієнта тиску в каналі від загальних об'ємних витрат:

$$\frac{dP(x)}{dx} = \frac{40}{3} \mu_0 \frac{h^2 + b^2}{h^3 \cdot b^3} \left(c_{bh} bh \frac{\omega D \cos \varphi}{2} - Q(x) \right), \quad (2.11)$$

де c_{bh} – коефіцієнт, який залежить від пропорції b/h і визначається шляхом експериментальних досліджень [152].

2.3 Математична модель балансу тепла при пресування мезги насіння рицини

Процес віджимання олії є неізотермічним, тому необхідно розглядати модель теплопереносу як частину загальної системи моделей дослідження. Температурний процес при віджиманні пропонується розглядати як об'єднання процесів дисипативного виділення тепла, теплообміну з боковими стінками каналу та витік тепла крізь верхню стінку каналу.

Будемо розглядати процес руху маси в каналі як течію рідини, що не стискається в щілині між паралельними площинами, причому верхня стінка каналу рухається зі швидкістю V , а нижня є нерухомою.

Поле швидкості такої течії задається диференціальним рівнянням [150]:

$$\frac{d^2 V_x}{dy^2} = \frac{1}{\mu(x)} \frac{dP}{dx}, \quad (2.12)$$

з крайовими умовами (у нашому випадку):

$$V_x|_{y=h} = V; V_x|_{y=0} = 0, \quad (2.12')$$

де $\mu(x)$ - динамічна в'язкість рідини, Па·с;

V – швидкість рухомої стінки каналу;

h - висота каналу;

V_x – проекція вектора швидкості V на вісь каналу.

Розв'язанням диференціального рівняння (2.12) є:

$$V_x = \frac{y^2}{2\mu(x)} \frac{dP}{dx} + C_1 y + C_2. \quad (2.13)$$

Константи C_1 і C_2 знаходять з урахуванням крайових умов (2.12'). У результаті отримаємо вираз для визначення швидкості руху рідини в каналі шнекового пресу V_x :

$$V_x = \frac{(y^2 - hy)}{2\mu(x)} \frac{dP}{dx} + \frac{v}{h} y, \quad (2.14)$$

Позначимо E_d потужність дисипації матеріалу при пресуванні через вираз:

$$E_d = \iint_S e_d dS, \quad (2.15)$$

де e_d – об'ємна щільність потужності дисипації;

S – перетин розгорнутого каналу, m^2 .

Відомо, що об'ємна щільність потужності дисипації задається співвідношенням [152]:

$$e_d = \mu \left(\frac{\partial v_x(y)}{\partial y} \right)^2. \quad (2.16)$$

Тоді, з урахуванням (2.14) отримаємо:

$$e_d = \mu(x) \left(\frac{(2y-h)}{\mu(x)} \frac{dP}{dx} + \frac{v}{h} \right)^2. \quad (2.17)$$

З урахуванням прямокутної форми перетину каналу, використовуючи формулу (2.15), отримуємо потужність дисипації E_d в елементі каналу малої довжини δ :

$$E_d = b\delta \int_0^h e_d dy, \quad (2.18)$$

або, після інтегрування та спрощення, отримуємо:

$$E_d = b\delta \left(\frac{h^3}{12\mu(x)} \left(\frac{dP}{dx} \right)^2 + \frac{\mu(x)V^3}{h} \right). \quad (2.19)$$

Процес теплообміну рідини E_2 , з верхньою стінкою каналу описується виразом:

$$E_2 = \alpha(T_s(x) - T(x)), \quad (2.20)$$

де $T_s(x)$ – температура верхньої стінки каналу, град.

α – коефіцієнт тепловіддачі рідини.

Визначимо процес витоку олії через зеєрні отвори шнеку як такий, що проходить з деякою інтенсивністю $q_M(x)$. Тоді, процес теплообміну крізь зеєрні отвори за одиницю часу E_M , пропонується описати співвідношенням:

$$E_M = -\rho_M c_M T(x) q_M(x) \delta, \quad (2.21),$$

де ρ_M – щільність олії, кг/м³

c_M – теплоємність олії, Дж/кг·К.

Різницю теплових потоків ΔE крізь перетин каналу в елементі довжиною δ запишемо у вигляді:

$$\Delta E = \frac{d}{dx} (\rho(x) c_p Q(x) T(x)) \delta, \quad (2.22)$$

де $\rho(x)$ – щільність суміші, кг/м³

c_p – теплоємність суміші, Дж/кг·К;

$T(x)$ – середньозважена температура суміші, град;

$Q(x)$ – загальні об'ємні витрати суміші в каналі, м³/с.

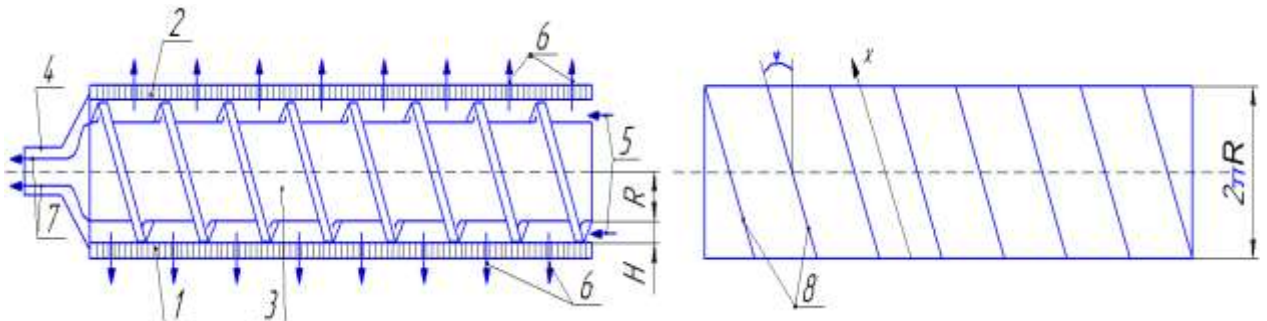
Тоді рівняння балансу тепла в каналі має такий вид:

$$\frac{d}{dx} \left(\rho(x) c_p Q(x) T(x) \right) = b \left(\frac{h^2}{12 \mu(x)} \left(\frac{dP}{dx} \right)^2 + \frac{\mu(x) v^2}{h} \right) + \alpha (T_s(x) - T(x)) - \rho_M c_M T(x) q_M(x), \quad (2.23)$$

Рівняння (2.23) і є моделлю, яка описує температурний процес при віджиманні рицинової олії.

2.4 Математична модель фільтрації олії

Розглянемо фільтрацію олії у шнековому пресі (рис. 2.3) як процес фільтрації рідини крізь пористе середовище, яке пластично деформується у процесі віджимання олії. Побудуємо модель, базуючись на Ейлеревому підході опису руху у двовимірному просторі середнього перетину, розгорнутого на площині каналу шнека.



- 1, 2 – зерна камера; 3 – шнековий вал; 4 - головка для виходу макухи;
 5 – напрям руху мезги; 6 – напрям руху олії, що віджимается;
 7 – вихід макухи; 8 – витки шнеку;

Рисунок 2.3 – Шнековий прес для віджимання олії: а) загальна схема; б) – розгорнута схема на площину шнека

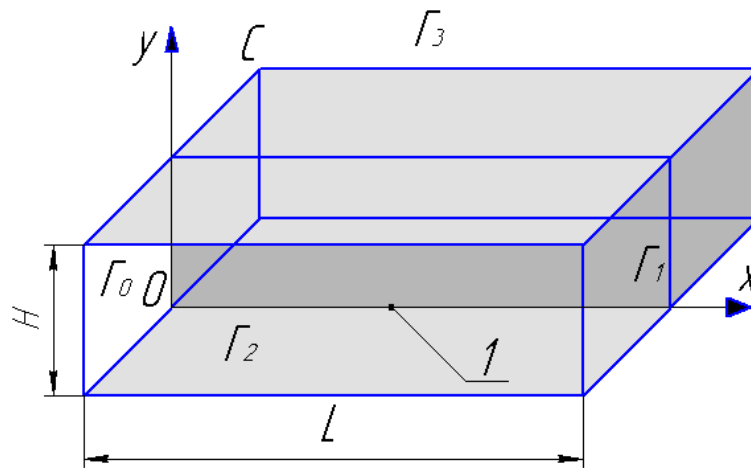
Введемо наступні допущення [155]:

- у зв'язку із наявністю відтоку олії за межу області дослідження, швидкість руху сировини вважаємо функцією двох змінних $v_x(x; y)$;
- тиск сировини вважаємо функцією однієї змінної $P(x)$;
- швидкість об'ємного стиснення пропорційна тиску в сировині [148];
- тиск в олії – функція двох змінних $P_w(x; y)$, вектор швидкості фільтрації олії $\{w_x(x; y); w_y(x; y)\}$;
- вважаємо постійними такі: теплофізичні властивості сировини, динамічну в'язкість сировини, коефіцієнт фільтрації;
- сили міжфазної взаємодії вважаємо відсутніми.

За вказаних припущень, математична модель будується у вигляді крайової задачі, яка ґрунтується на рівняннях балансу кількості руху і збереження маси кожної складової рухомої суміші.

З урахуванням досліджень [155], де запропоновано модель фільтрації рідини крізь пластично-деформоване пористе середовище, введемо позначення: \bar{v} – вектор швидкості суміші; \bar{w} – вектор швидкості фільтрації олії, P – тиск в суміші; P_w – тиск в олії; μ – динамічна в'язкість суміші; ρ_s – щільність суміші; ρ_m – щільність олії; K_f – коефіцієнт фільтрації; J – швидкість віджимання олії.

Двовимірною стаціонарною крайовою задачею побудовано в декартовій системі координат, в якій вісь x направлена за нижньою непроникною стінкою каналу, а вісь y – за його висотою (рис. 2.4).



1 – середній переріз; L – довжина каналу; H – висота каналу; Γ_0 – вхідний переріз каналу; Γ_1 – вихідний переріз каналу; Γ_2 – нижня суцільна нерухома стінка; Γ_3 – проникна частина верхньої рухомої стінки

Рисунок 2.4 – Схема розгорнутого на площину каналу шнека

Математичну модель будемо як комбінацію рівняння збереження мас:

$$\frac{\partial \rho_s}{\partial t} + \nabla(\rho_s \cdot \bar{v}) = -J, \quad \frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \nabla(\rho_m \cdot \bar{w}) = J, \quad (2.24)$$

і рівняння Дарсі руху олії в пористій суміші [156]:

$$\bar{w} = -K_f \nabla P_w. \quad (2.25)$$

Відповідно, вид рівняння для поля тиску олії має вигляд:

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} - \nabla(\rho_m \cdot K_f \nabla P_w) = J, \quad (2.26)$$

При цьому швидкість зміни елементарного об'єму олії дорівнює швидкості зміни елементарного об'єму суміші:

$$\nabla \bar{v} = \nabla \bar{w}, \quad (2.27)$$

Крайові умови задачі випливають із наступних суджень. На вході в канал тиск вважається рівним нулю $P|_{\Gamma_0} = 0$, $P_w|_{\Gamma_0} = 0$. У вихідному

перетині каналу прикладене навантаження, яке дорівнює опору вихідної головки шнекового пресу. На бокових суцільних стінках каналу Γ_2, Γ_3 (рис. 2.3) виконуються умови прилипання суміші і олії $v_x|_{\Gamma_2} = 0, v_y|_{\Gamma_2} = 0, w_y|_{\Gamma_2} = 0, v_x|_{\Gamma_3} = v_0, v_y|_{\Gamma_3} = 0, P_w|_{\Gamma_3} = 0$.

Розглянемо детально процес фільтрації олії у зерній камері, використовуючи підхід, запропонований у роботі [155]. У зв'язку з тим, що довжина каналу суттєво перевищує його розміри в перетині та відтоком олії за межі області розрахунків, вектор швидкості суміші $v_x(x; y)$ та інші компоненти вектору швидкості дорівнюють нулю. Тиск суміші вважаємо одновимірним $P(x)$. Крім того приймаємо, що тиск в олії залежить від двох змінних $P_w(x; y)$.

В'язкість суміші, у загальному випадку з урахуванням досліджень [157-158] залежить від тиску, концентрації масла, швидкості зсуву. Але у першому наближенні будемо вважати цю величину постійною

При таких припущеннях рух олії крізь пористу суміш, яка визначається законом Дарсі, приймає вид:

$$w_x = -K_f \frac{\partial P_w}{\partial x}; w_y = -K_f \frac{\partial P_w}{\partial y}. \quad (2.28)$$

Виходячи з умов, що швидкості зміни об'ємів $\frac{\partial v_x}{\partial x} = -J$ і $\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} = J$, рівні між собою, отримаємо перетворений вираз закону Дарсі:

$$-K_f \left(\frac{\partial^2 P_w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P_w}{\partial y^2} \right) = -\frac{\partial v_x}{\partial x}, \quad (2.29)$$

Припустимо, що швидкість віджимання олії пропорційна тиску:

$$-\frac{\partial v_x}{\partial x} = J = \chi P_w, \quad (2.30)$$

де коефіцієнт χ визначається фільтраційними властивостями суміші.

При зроблених припущеннях отримаємо рівняння, яке описує тиск в олії:

$$-K_f \left(\frac{\partial^2 P_w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P_w}{\partial y^2} \right) = \chi P_w, \quad (2.31)$$

Диференціальне рівняння (2.31) пропонується розв'язувати на основі методу exp-function, запропонованого в роботах [159-160]. Будемо шукати розв'язок задачі у вигляді $P_w(x; y) = P(x)g(y)$, де $P(x)$ – деяка експоненціальна залежність:

$$P(x) = P_{in} e^{kx}, \quad (2.31')$$

де P_{in} – тиск на вході в зерну камеру, Па.

Тоді, з рівняння (2.31) отримаємо:

$$-K_f \left(P_{in} k^2 e^{kx} g(y) + P_{in} e^{kx} g''(y) \right) = \chi P_{in} e^{kx} g(y), \quad (2.32)$$

яке перетвориться у диференціальне рівняння для функції $g(y)$:

$$g''(y) + \left(k^2 + \frac{\chi}{K_f} \right) g(y) = 0, \quad (2.33)$$

Розв'язок цього рівняння має такий вид:

$$g(y) = C_1 \cos \left(\sqrt{k^2 + \frac{\chi}{K_f}} y \right) + C_2 \sin \left(\sqrt{k^2 + \frac{\chi}{K_f}} y \right). \quad (2.34)$$

З урахуванням крайових умов $g'(0) = 0$ (на нижній стінці каналу фільтрація відсутня) і $g(0) = 1$. Це впливає з того, що $P_w(x; 0) = P(0)$. У результаті отримаємо:

$$g'(0) = C_2 = 0, g(0) = C_1 = 0. \quad (2.35)$$

З урахуванням цього маємо:

$$g(y) = \cos \left(\sqrt{k^2 + \frac{\chi}{K_f}} y \right). \quad (2.36)$$

Тоді тиск в олії визначається співвідношенням:

$$P_w(x; y) = P_{in} e^{kx} \cos \left(\sqrt{k^2 + \frac{\chi}{K_f}} y \right). \quad (2.37)$$

У зв'язку з тим, що тиск в олії в зерній зоні відсутній, тобто $g(h) = 0$, маємо:

$$g(h) = \cos \left(\sqrt{k^2 + \frac{\chi}{K_f}} h \right) = 0. \quad (2.38)$$

З цього випливає, що $\sqrt{k^2 + \frac{\chi}{K_f}} h = \frac{\pi}{2} + n\pi, n = 0, 1, \dots$

Тепер, знаходимо коефіцієнт χ (при $n = 0$):

$$\chi = K_f \left(\frac{\pi^2}{4h^2} - k^2 \right), \quad (2.39)$$

У підсумку, тиск в олії в шнековому пресі визначається співвідношенням:

$$P_w(x; y) = P_{in} e^{kx} \cos\left(\frac{\pi}{2h} y\right), \quad (2.40)$$

де k - параметр автомодельності, $k = \frac{\ln\left(\frac{P_0}{P_{in}}\right)}{L}$.

Використовуючи це співвідношення в рівнянні Дарсі, знайдемо вираз швидкості руху олії у процесі її фільтрації:

$$w_x = -K_f \left(\frac{\partial P_w}{\partial x}\right) = -K_f P_{in} k e^{kx} \cos\left(\frac{\pi}{2h} y\right), \quad (2.41)$$

$$w_y = -K_f \left(\frac{\partial P_w}{\partial y}\right) = K_f P_{in} e^{kx} \frac{\pi}{2h} \sin\left(\frac{\pi}{2h} y\right), \quad (2.42)$$

де $k = \frac{\ln\left(\frac{P_0}{P_{in}}\right)}{L}$.

Звідси отримуємо швидкість віджимання олії крізь зерну камеру

$$w_y|_{y=h} = K_f P_{in} e^{kx} \frac{\pi}{2h}. \quad (2.43)$$

Знайдемо об'ємний вихід олії крізь зерну камеру. Для цього проінтегруємо функцію віджимання олії та помножимо на ширину каналу:

$$Q_y^w = b \int_0^x w_y|_{y=h} dx = b K_f P_{in} e^{kx} \frac{\pi}{2kh}, \quad (2.44)$$

$$Q_x^w = b \int_0^H w_x dy = -2 \frac{hb K_f P_{in} k e^{kx}}{\pi}. \quad (2.45)$$

Проаналізуємо ці показники. У зв'язку з тим, що величина h суттєво менша ніж L , значення $Q_x^w = -2 \frac{hb K_f P_{in} \ln\left(\frac{P_0}{P_{in}}\right) e^{\frac{\ln\left(\frac{P_0}{P_{in}}\right)x}}{\pi}$ приймає невелику

величину, тобто фільтраційний потік в напрямку осі шнекового пресу суттєво менше ніж в напрямку зерних отворів.

Розглянемо окремо рівняння руху суміші в каналі. Як відомо, модель такого руху має вид (при прийнятих раніше припущеннях) [155]:

$$\frac{\partial P(x)}{\partial x} = \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2}, \quad (2.46)$$

Перетворюємо цю диференціальну залежність з урахуванням попередніх допущень:

$$\frac{\partial P(x)}{\partial x} = \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) - \frac{4}{3} \mu \chi \frac{\partial P_w}{\partial x}, \quad (2.48)$$

Вихордячи з умови, що $-\frac{\partial v_x}{\partial x} = \chi P_w$, отримаємо:

$$v_x(x; y) = -\chi \int P_{in} e^{kx} g(y) dx + C(y) = -\frac{\chi P_{in} e^{kx} g(y)}{k} + C(y). \quad (2.49)$$

Рівняння руху суміші приймає вигляд:

$$k P_{in} e^{kx} = -\mu \frac{\chi P_{in} e^{kx}}{k} g''(y) - \frac{4}{3} \mu \chi k P_{in} e^{kx} g(y). \quad (2.50)$$

У спрощеній формі залежність (2.50) можна записати так:

$$-k = \mu \frac{\chi}{k} g''(y) + \frac{4}{3} \mu \chi k g(y), \quad (2.51)$$

звідки:

$$g''(y) + \frac{4}{3} k^2 g(y) = -\frac{k^2}{\mu \chi}, \quad (2.52)$$

Загальний розв'язок цього диференціального рівняння має вигляд:

$$g(y) = C_1 \cos\left(\sqrt{\frac{4}{3}}ky\right) + C_2 \sin\left(\sqrt{\frac{4}{3}}ky\right) - \frac{3}{4\mu\chi}, \quad (2.53)$$

Для визначення констант C_1 і C_2 використовуємо крайові умови: $g(0) = 0, g(h) = 0$. Тоді:

$$g(0) = C_1 - \frac{3}{4\mu\chi} = 0 \text{ і } C_1 = \frac{3}{4\mu\chi}, \quad (2.54)$$

$$g(h) = \frac{3}{4\mu\chi} \cos\left(\sqrt{\frac{4}{3}}kh\right) + C_2 \sin\left(\sqrt{\frac{4}{3}}kh\right) - \frac{3}{4\mu\chi} = 0, \quad (2.55)$$

$$C_2 = \left(-\frac{3}{4\mu\chi} \cos\left(\sqrt{\frac{4}{3}}kh\right) + \frac{3}{4\mu\chi}\right) / \sin\left(\sqrt{\frac{4}{3}}kh\right). \quad (2.56)$$

Таким чином:

$$g(y) = \frac{3}{4\mu\chi} \cos\left(\sqrt{\frac{4}{3}}ky\right) + \frac{-\frac{3}{4\mu\chi} \cos\left(\sqrt{\frac{4}{3}}kh\right) + \frac{3}{4\mu\chi}}{\sin\left(\sqrt{\frac{4}{3}}kh\right)} \sin\left(\sqrt{\frac{4}{3}}ky\right) - \frac{3}{4\mu\chi}. \quad (2.57)$$

Швидкість руху суміші визначається із співвідношення з урахуванням того, що $v_x(x; h) = v_0$. Остаточно маємо:

$$v_x(x; y) = \chi P_{in} e^{kx} \frac{1}{k} \frac{3}{4\mu\chi} \left(\frac{3}{4\mu\chi} \cos\left(\sqrt{\frac{4}{3}}ky\right) + \frac{-\frac{3}{4\mu\chi} \cos\left(\sqrt{\frac{4}{3}}kh\right) + \frac{3}{4\mu\chi}}{\sin\left(\sqrt{\frac{4}{3}}kh\right)} \sin\left(\sqrt{\frac{4}{3}}ky\right) - \frac{3}{4\mu\chi} \right) + \frac{v_0 y}{h} \quad (2.58)$$

Об'ємні витрати суміші визначаються шляхом інтегрування функції швидкості суміші

$$Q_x^v = \int_0^h v_x(x; y) dy = \frac{v_0 h}{2} - \frac{3}{4\mu} P_{in} e^{kx} \left(\frac{2 \left(\cos\left(\frac{2kh}{\sqrt{2}}\right) - 1 \right)}{\frac{2k}{\sqrt{2}} \sin\left(\frac{2kh}{\sqrt{2}}\right)} + h \right), \quad (2.59)$$

де $k = \frac{1}{l} \ln \left(\frac{P_0}{P_{in}} \right)$.

Зауважимо, що тиск в суміші P_0 зв'язаний з витратами суміші на виході та регулюється опором вихідної головки шнекового пресу.

2.5 Аналіз побудованих моделей фільтрації олії за постійних показників коефіцієнту фільтрації та пористості

Розрахунок проводимо за моделями (2.31'), (2.40) та (2.58) при наступних даних: радіус шнека $R = 0.05$ м, висота каналу $h = 0.065$ м, кут підймання витка $\varphi = 17^\circ$, кількість обертів гвинта шнеку $n = 20 \frac{\text{об}}{\text{хвил}}$, швидкість руху верхньої стінки каналу $v_0 = \frac{2\pi R n}{60 \cos(\varphi)} = 0,044$ м/с. Розгорнута довжина каналу зерної камери становить 0,579 м (в даному випадку розглядається один пресувальний виток). Тиск головки шнека приймаємо рівним $P_0 = 14$ мПа. В'язкість суміші $\mu = 0,0218$ Н·с/м² (при температурі 90°C) [161]. Значення коефіцієнта фільтрації приймаємо рівним $K_\phi = 1,07 \cdot 10^{-5}$ м²/(Па с).

На рис. 2.5 та 2.6 наведено графік зміни тиску в суміші і в олії по довжині та висоті розгорнутого каналу відповідно. Аналізом залежності (рис. 2.5) встановлено, що у напрямку зерного циліндру (висоти розгорнутого каналу) тиск у суміші залишається незмінним і відповідним тиску на встановленій довжині каналу шнеку, що пояснюється відсутністю втрат

мезги через зерні отвори зерного циліндру. Зміна тиску у суміші відбувається тільки за довжиною (ходом) шнеку. Процес $P = f(l, h)$ характеризується двома зонами, які визначено за методикою [162]. Так, у першій зоні зі збільшенням параметру l до 0,457 м (у відносних одиницях це складає $l_{від}=0,457/0,579=0,79$), зростання тиску відбувається повільно до значення $P = 2,95$ мПа, що пояснює процес виділення олії із мезги за А. М. Голдовським [2] (розділ 1.4). Друга зона характеризується різким збільшенням тиску від 2,95 до 14 мПа у межах довжини каналу від $l = 0,457$ до $l = 0,579$ м у зв'язку із витисненням повітряних проміжків та зменшенням кількості олії у пресувальному матеріалі.

Що стосується тиску в олії (рис. 2.6), то при найбільшій довжині розгорнутого каналу, найбільший тиск олія має біля шнекового валу (при $h=0$ м). За ходом олії до зерних отворів зерного циліндру (зі збільшенням висоти розгорнутого каналу) тиск зменшується. І відповідно, при досягненні зерних отворів олією, – тиск в олії дорівнює нулю (відбувається витікання олії). Наприклад, в кінці пресувального витка при $l = 0,579$ м, тиск в олії змінюється від 14 мПа (біля шнекового валу) до 0 мПа (у зерних отворів).

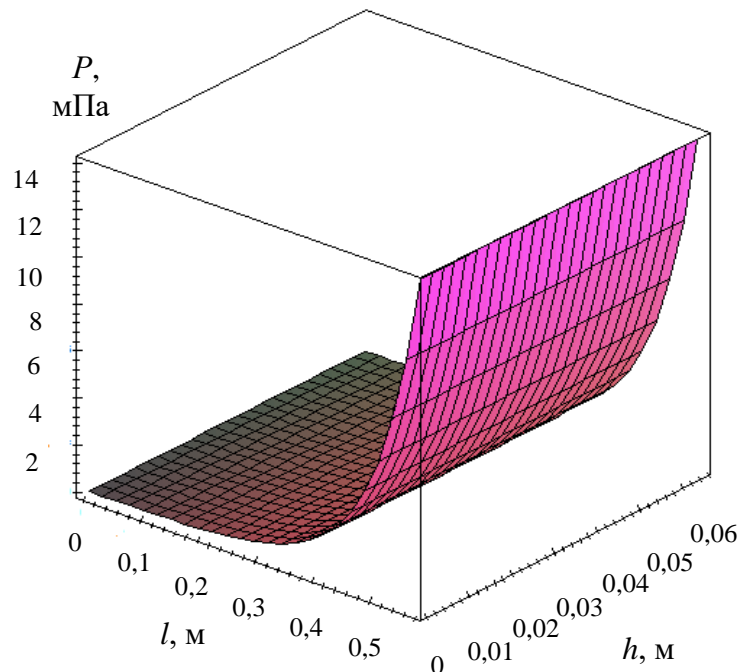


Рисунок 2.5 – Графік зміни тиску в суміші по довжині та висоті каналу $P = f(l; h)$

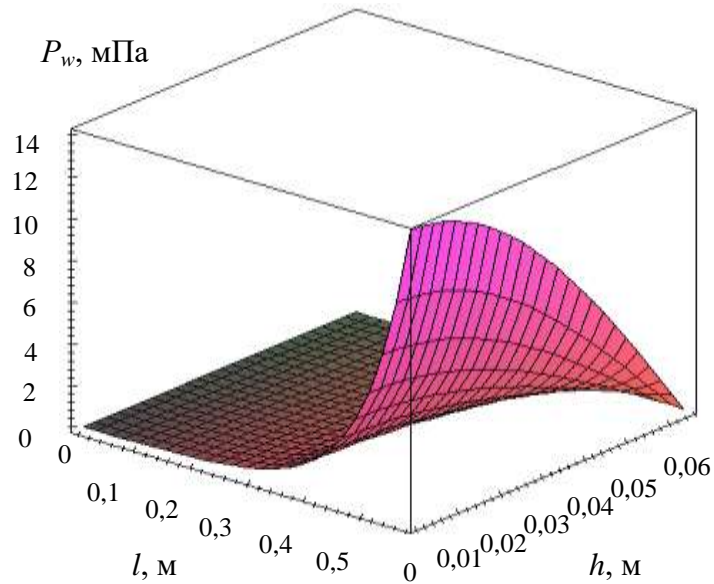


Рисунок 2.6 – Залежність зміни тиску в олії по довжині та висоті каналу $P_w = (x; y)$

В залежності від тиску в олії у напрямку до зерного циліндра (із збільшенням висоти розгорнутого каналу), буде змінюватися і швидкість фільтрації олії через мезгу насіння ріцини. Для виключення залежності швидкості фільтрації олії від швидкості обертання шнекового валу (формула 2.58), представимо залежність зміни швидкості фільтрації у відносних одиницях $v_y(x; y)/v_0$ (рис. 2.7).

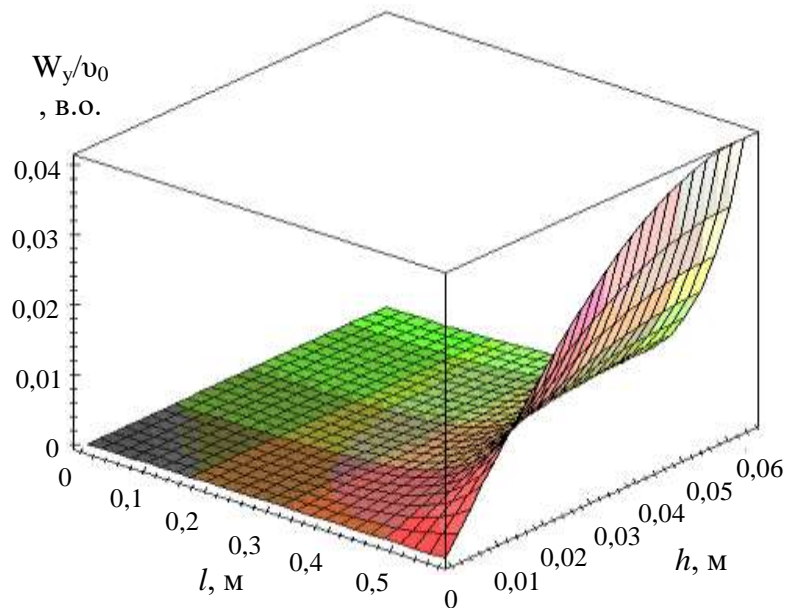


Рисунок 2.7 – Графік відносної швидкості фільтрації олії в радіальному напрямку по довжині і висоті каналу $w_y(x; y)/v_0$

Як бачимо (рис. 2.7), розподіл швидкості фільтрації олії по висоті каналу незначний за винятком області у кінці розгорнутого каналу (або у кінці пресувального витка), де різко підвищується тиск у суміші та перепад тиску в олії за висотою каналу (або у напрямку від шнекового валу до зерного циліндру). Тобто, чим ближче до зерних отворів зерного циліндру ($h \rightarrow 0,065$ м), відносна швидкість фільтрації олії збільшується і досягає найбільшого значення у кінці пресувального витка ($l = 0,576$ м). За довжиною каналу найбільша зміна відбувається біля зерних отворів ($h = 0,065$ м), найменша – вздовж шнекового валу пресувального витка ($h = 0$ м). Прикладом є виведена залежність (рис. 2.8) швидкості олії від довжини каналу біля зерних отворів зерного циліндру шнекового пресу, тобто при $h=0,065$ м.

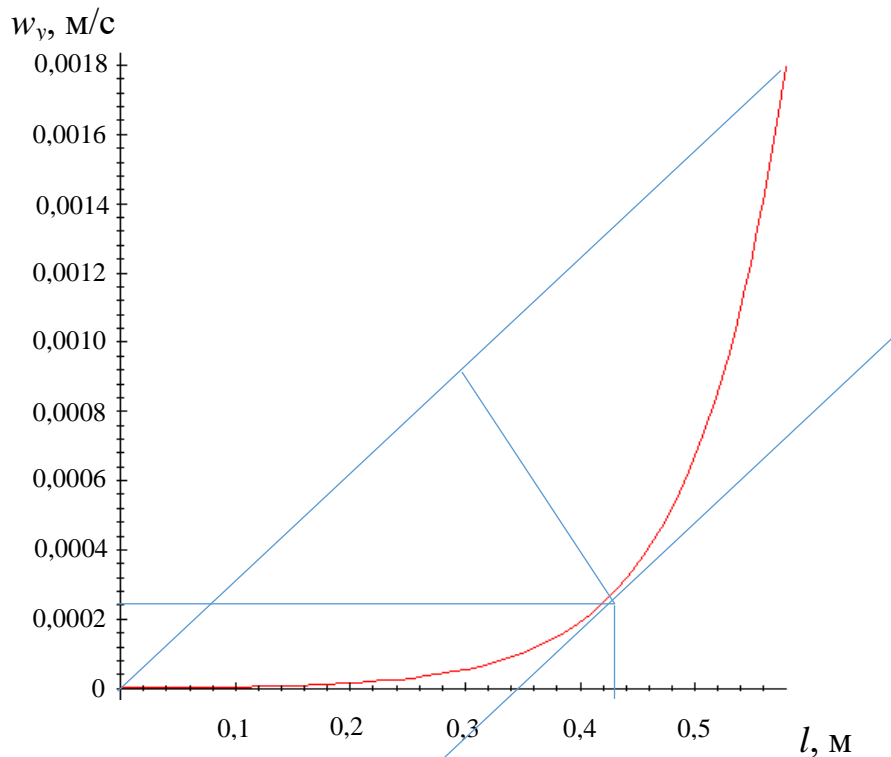


Рисунок 2.8 – Залежність швидкості фільтрації олії по довжині каналу при $h = 0,065$ м

Швидкість фільтрації олії (рис. 2.8) змінюється від 0 до 0,00176 м/с при швидкості руху стінки каналу $v_0=0,0144$ м/с (або швидкості обертання шнекового валу $n=20$ об/хв [40]). Процес $w_y=f(l)$ характеризується двома

зонами, які визначено за методикою [162]. Так, у першій зоні зі збільшенням параметру l до 0,432 м, зростання швидкості фільтрації w_y , м/с відбувається повільно до значення $w_y = 0,00027$ м/с. Друга зона характеризується різким зростанням швидкості фільтрації $w_y = 0,00176$ м/с при довжині понад $l = 0,432$ м. Враховуючи данні залежності (рис. 2.6), де встановлено, що тиск олії біля зеєрних отворів зеєрного циліндру (при $h=0,065$ м) дорівнюється нулю ($P_w = 0$ мПа), тобто витікає олія, встановлено, що для першої зони (рис. 2.8) достатні величини тиску на мезгу при пресуванні складають від $P = 0$ до $P = 2,95$ мПа (рис. 2.5) при швидкості фільтрації олії від $w_y = 0$ до $w_y = 0,00176$ м/с (рис. 2.8), а для другої – від $P = 2,95$ до $P = 14$ мПа (рис. 2.5) при швидкості фільтрації олії від $w_y = 0$ до $w_y = 0,00176$ м/с (рис. 2.8).

2.6 Дослідження процесу фільтрації олії в каналі шнеку за змінних показників коефіцієнту фільтрації та пористості

При побудові моделей одним із важливих питань є показники поведінки мезги в процесі віджимання і фільтрації олії.

Уведемо наступні припущення. Пресувальна суміш є субстанцією двох компонентів – мезги і олії. Мезгу будемо розглядати як пористий скелет, що заповнений олією. Вважаємо, що компоненти суміші не вступають у хімічну взаємодію. Суміші знаходиться під постійним навантаженням, унаслідок чого відбувається відтік олії крізь проникнену стінку і змінюється співвідношення часток олії і мезги у суміші.

У пунктах 2.4 і 2.5 розглянуто процес віджимання олії за постійних значень показників коефіцієнту фільтрації і пористості уздовж всього каналу.

Будемо вважати, що коефіцієнт пористості та коефіцієнт фільтрації (проникненості) є постійними величинами в межах тільки одного витка шнеку і змінюються при переході від одного витка до наступного.

При зроблених припущеннях закон Дарсі для суміші, яку ми розглядаємо як нестиснену рідину, має вид [155]:

$$w_y = - \frac{K_{\text{пр}}}{\mu} \frac{dP}{dy}, \quad (2.61)$$

де w_y – швидкість руху рідини (олії) у пористому середовищі; м/с

$K_{\text{пр}}$ - коефіцієнт проникненості, який характеризує структуру пресувального матеріалу

μ – динамічна в'язкість олії, Па·с

$\frac{dP}{dy}$ – градієнт тиску в радіальному напрямі.

Витікання олії проходить за межі каналу, тому радіальний градієнт тиску визначається тиском $P(x)$ біля нерухомої стінки каналу:

$$\frac{dP}{dy} = \frac{P}{h}, \quad (2.62)$$

Тиск в шнеку описується експоненціальною залежністю [155]:

$$P(x) = P_{in} e^{kx}, \quad (2.63)$$

де P_{in} – тиск на вході в зону фільтрації (зеєрну камеру), Па;

$$k = \ln \left(\frac{P_0}{P_{in}} \right) / L;$$

P_0 – тиск на виході зі шнеку, Па;

L – довжина каналу, м.

Потік олії, який поступає у деякий елементарний об'єм, дорівнює:

$$m(x) = w_{\text{сп}} h b \cdot C(x), \quad (2.64)$$

де w_{cp} – середня швидкість олії по перетину каналу, м/с;

h і b – геометричні розміри каналу, м;

$C(x)$ – функція, яка описує локальну об'ємну концентрацію олії в суміші.

Розглянемо потоки суміші, які направлені на вихід із розглянутого елементарного об'єму. По-перше, це потік фільтрації олії

$$m_f(x) = w_{cp} \cdot b \cdot C(x)dx, \quad (2.65)$$

По-друге, потік руху сировини:

$$m(x + dx) = w_{cp} hb \cdot C(x + dx) \quad (2.66)$$

Рівняння балансу потоку є суммою залежностей (2.65) і (2.66):

$$m(x) = m_f(x) + m(x + dx) \quad (2.67)$$

або

$$w_{cp} hb \cdot C(x) = w_{cp} \cdot b \cdot C(x)dx + w_{cp} hb \cdot C(x + dx). \quad (2.68)$$

Звідси, з урахуванням того, що

$$C(x + dx) - C(x) = \frac{dC(x)}{dx} dx, \quad (2.68')$$

отримуємо, що:

$$C(x) - C(x + dx) = -\frac{K_{np}}{\mu w_{cp} h} P_{in} e^{kx} C(x)dx. \quad (2.69)$$

Після спрощення отримаємо рівняння, яке характеризує процес фільтрації в зерній камері. Відповідно маємо:

$$\frac{dC(x)}{C(x)} = -\frac{K_{np} P_{in}}{w_{cp} \mu h^2} e^{kx} dx, \quad (2.70)$$

при початковій умові $C(0) = C_0$.

Розв'язанням цього рівняння є функція розподілу олії уздовж каналу шнеку:

$$\ln(C(x)) = -\frac{K_{np} P_{in}}{kw_{cp} \mu h^2} e^{kx} + const, \quad (2.71)$$

або

$$C(x) = \exp\left(-\frac{K_{np} P_{in}}{kw_{cp} \mu h^2} e^{kx}\right) \cdot \exp(const). \quad (2.72)$$

З урахуванням початкових умов, маємо

$$C(0) = \exp\left(-\frac{K_{np} P_{in}}{kw_{cp} \mu h^2}\right) / \exp(const) = C_0 \quad (2.73)$$

$$\exp(const) = \frac{C_0}{\exp\left(-\frac{K_{np} P_{in}}{kw_{cp} \mu h^2}\right)}. \quad (2.74)$$

Концентрація олії в зоні фільтрації описується залежністю:

$$C(x) = C_0 \cdot \frac{\exp\left(-\frac{K_{np} P_{in}}{kw_{cp} \mu h^2} e^{kx}\right)}{\exp\left(-\frac{K_{np} P_{in}}{kw_{cp} \mu h^2}\right)}. \quad (2.75)$$

Вираз для визначення концентрації відфільтрованої олії у каналі шнеку є таким:

$$C_{\phi}(x) = C_0 \cdot \left(1 - \frac{\exp\left(-\frac{K_{\text{np}} P_{\text{in}}}{k w_{\text{cp}} \mu h^2} e^{kx}\right)}{\exp\left(-\frac{K_{\text{np}} P_{\text{in}}}{k w_{\text{cp}} \mu h^2}\right)} \right). \quad (2.76)$$

Рівняння для визначення середньої кількості відфільтрованої олії за всією довжиною шнека має вигляд:

$$M = \frac{1}{L} \int_0^L C_0 \cdot \left(1 - \frac{\exp\left(-\frac{K_{\text{np}} P_{\text{in}}}{k w_{\text{cp}} \mu h^2} e^{kx}\right)}{\exp\left(-\frac{K_{\text{np}} P_{\text{in}}}{k w_{\text{cp}} \mu h^2}\right)} \right) dx. \quad (2.77)$$

2.7 Аналіз побудованих моделей фільтрації олії за змінних показників коефіцієнту фільтрації та пористості

Розрахунки проводимо за моделями при наступних показниках:

- діаметр зерної камери $d = 0.1$ м;
- крок витка шнека H є від 0,018м до 0.147м;
- висота каналу шнека $h = 0.065$ м;
- довжина каналу шнека в зоні фільтрації $l = 0,579$ м;
- щільність олії $\rho = 960$ кг/м³ [46];

$$\text{Тоді коефіцієнт } k = \frac{\ln\left(\frac{P_0}{P_{\text{in}}}\right)}{L} = \frac{\ln\left(\frac{14}{0,01}\right)}{0,579} = 12,51.$$

За температури пресування 90°C динамічна в'язкість олії $\mu = 0,0218$ Па · с [161].

Проникненість м'ятки змінюється в залежності від тиску, значення $K_f = 8,82 * 10^{-12}$ м² до $6,11 * 10^{-14}$ м².

Швидкість фільтрації олії за довжиною каналу визначаємо із виразу:

$$w_f = \frac{K_f}{\mu h} P_{\text{in}} e^{kx}. \quad (2.78)$$

Розраховані значення швидкості фільтрації та тиску мезги на відповідному пресувальному витку наведені в табл. 2.1. Ілюстрація цих даних приведена на рис. 2.9.

Як бачимо (рис. 2.9), швидкість фільтрації в початковий момент прагне максимуму при незначному тиску і досягає максимального значення $w_f = 0,021$ м/с при значеннях тиску $P = 0,06$ мПа, яке створюється на другому пресувальному витку. Далі, відбувається поступове зниження швидкості фільтрації олії при збільшенні тиску мезги. Причому, на третьому та четвертому – відбувається незначне зниження швидкості фільтрації до значення $w_y = 0,00191$ м/с при тиску $P = 3,32$ мПа. На восьмому пресувальному витку швидкість фільтрації знижується до найменшого значення $w_y = 0,0015$ м/с при $P = 14$ мПа.

Таблиця 2.1 – Значення швидкості фільтрації олії та тиску мезги на відповідному пресувальному витку

№ витка	1	2	3	4	5	6	7	8
$P(x)$, мПа	0,063	0,32	1,28	3,32	5,91	8,59	11,18	14
Швидкість фільтрації, w_f , м/с	0,001	0,0020	0,0019	0,0019	0,0017	0,0017	0,0015	0,0015
	1	9	7	1	8	7	7	1

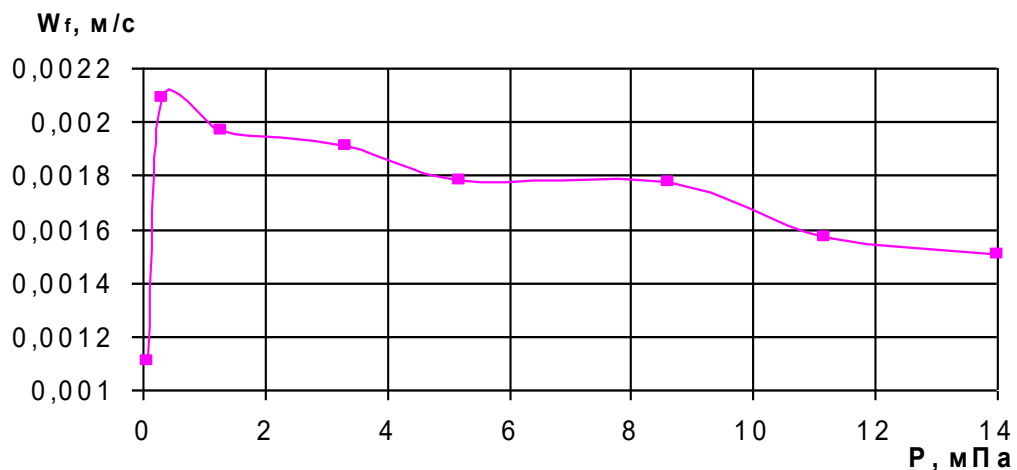


Рисунок 2.9 – Швидкість фільтрації олії w_y від тиску на мезгу P

Таку закономірність швидкості фільтрації можна пояснити поступовим зменшенням кількості олії, що знаходилася у мезгі під час пресування. Тобто, у вихідній мезгі, кількість олії максимальна. Відповідно, при незначному тиску на мезгу, спочатку витікає більша кількість олії з найбільшою швидкістю. Далі, зі зменшенням кількості олії у мезгі, швидкість фільтрації зменшується.

Для підтвердження цих слів, розрахуємо зміну концентрації вільної олії, що знаходиться у мезгі під час стиснення $C(x)/C_0$ із формули:

$$C(x)/C_0 = \frac{\exp\left(-\frac{K_{np} P_{in}}{kw_{cp} \mu h^2} e^{kx}\right)}{\exp\left(-\frac{K_{np} P_{in}}{kw_{cp} \mu h^2}\right)}. \quad (2.79)$$

Знайдемо відносну швидкість зміни концентрації (у відсотках) олії у сировині шляхом диференціювання:

$$\frac{d(C(x)/C_0)}{dx} = -\frac{K_{np} P_{in} e^{kx}}{w_{cp} \mu h^2} \exp\left(-\frac{K_{np} P_{in}}{kw_{cp} \mu h^2} (1 - e^{kx})\right). \quad (2.80)$$

Відносна концентрація отфільтрованої олії за довжиною шнека знайдемо за формулою

$$\frac{C_{\phi}(x)}{C_0} = \left(1 - \frac{\exp\left(-\frac{K_{np} P_{in}}{kw_{cp} \mu h^2} e^{kx}\right)}{\exp\left(-\frac{K_{np} P_{in}}{kw_{cp} \mu h^2}\right)}\right). \quad (2.81)$$

Графічна залежність відносної концентрації (теоретичної) відфільтрованої олії на основі формули (2.81) від тиску мезги показано на рис. 2.9. Зі збільшенням тиску збільшується концентрація відфільтрованої олії (тобто та олія, яка вже витікла по відношенню до яку можна отримати із мезги). Найбільша концентрація відфільтрованої олії ($C_{\phi}/C_0=0,8$). досягається при значеннях тиску від 0 до 3,3 мПа (рис. 2.10), що відповідає значенням з

першого по четвертий пресувальний виток (табл. 2.1). При значенні тиску мезги $P=14$ мПа, концентрація відфільтрованої олії складає $C_{\phi}/C_0=1$, тобто при цьому значенні тиску теоретично віджимається вся кількість олії, що має мезга.

Також, у відповідності з [162], процес $C_{\phi}/C_0=f(P)$ можна охарактеризувати двома зонами. Перша зона при тиску на мезгу (P , мПа) від 0 до 2,6 мПа відбувається витікання найбільшої кількості олії. Друга зона від 2,6 до 14 мПа – витікання значно уповільнюється у зв'язку із малою кількістю олії, що залишилася у мезгі.

Враховуючи данні табл. 2.1 та рис 2.10, конструктивне виконання пресувальних витків повинне бути таке, щоб забезпечити значення тиску для відповідного пресувального витку. На першому пресувальному витку тиск повинен складати $P = 0,063$ мПа, на другому – $P = 0,32$ мПа, на третьому – $P = 1,28$ мПа, на четвертому – $P = 3,32$ мПа, на п'ятому – $P = 5,19$ мПа, на шостому – $P = 8,59$ мПа, на сьомому – $P = 11,18$ мПа та на восьмому – $P = 14$ мПа. Достатня кількість пресувальних витків шнекового пресу – вісім витків, так як на восьмому пресувальному витку теоретична концентрація олії досягає максимального значення $C_{\phi}/C_0=1$.

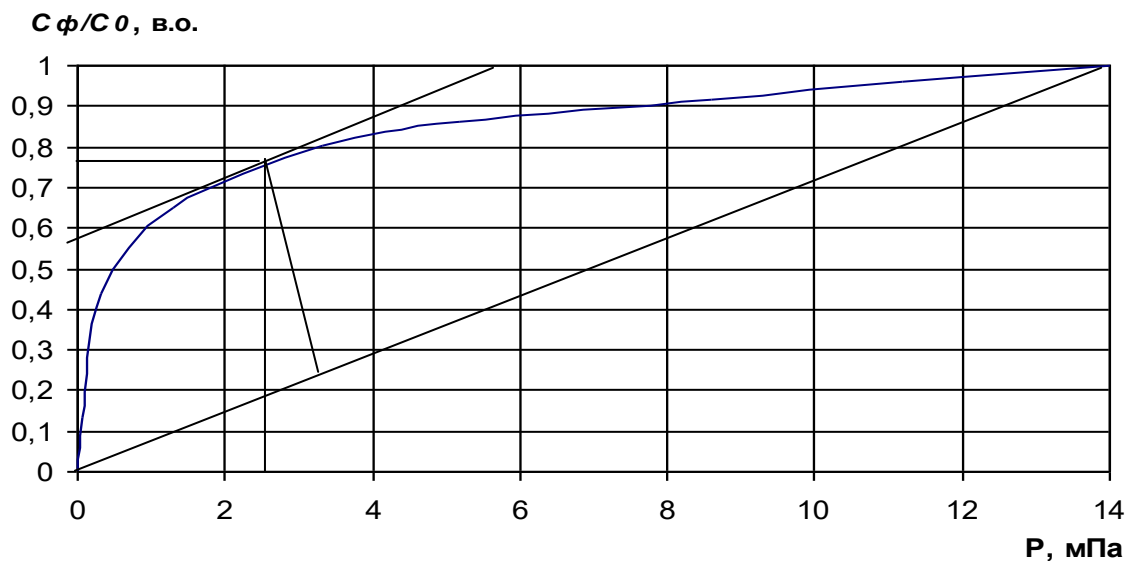


Рисунок 2.10 – Залежність відносної концентрації відфільтрованої олії від тиску мезги

2.8 Висноки до розділу 2

1. Для забезпечення пресування мезги насіння ріцини та розрахунку параметрів шнекового пресу розроблені математична модель тиску в каналі при віджиманні олії із мезги насіння ріцини та модель фільтраційного руху олії з врахуванням властивостей олії і мезги насіння ріцини.

2. Теоретичним моделюванням процесу пресування мезги насіння ріцини в межах одного пресувального витка встановлено, що достатні величини тиску на мезгу складають: для першої зони від $P = 0$ до $P = 2,95$ мПа при відносній довжині пресувального витка до значень $l_{від} = 0,79$; для другої зони – від $P = 2,95$ до $P = 14$ мПа при відносній довжині пресувального витка від значень $l_{від} = 0,79$ до $l_{від} = 1$.

3. Теоретичним моделюванням процесу пресування мезги насіння ріцини виявлені закономірності впливу параметрів при пресуванні на ефективність самого пресування:

- тиск мезги, що створюється на першому пресувальному витку при пресуванні мезги насіння ріцини повинен складати $P=0,063$ мПа, при такому значенні тиску, швидкість фільтрації буде складати $W_y=0,0011$ м/с, відносна концентрація олії буде складати $C_{ф}/C_0=0,135$; на другому – $P=0,32$ мПа, $W_y=0,00209$ м/с, $C_{ф}/C_0=0,439$; на третьому – $P=1,28$ мПа, $W_y=0,00197$ м/с, $C_{ф}/C_0=0,65$; на четвертому – $P=3,32$ мПа, $W_y=0,00191$ м/с, $C_{ф}/C_0=0,803$; на п'ятому – $P=5,19$ мПа, $W_y=0,00178$ м/с, $C_{ф}/C_0=0,861$; на шостому – $P=8,59$ мПа, $W_y=0,00177$ м/с, $C_{ф}/C_0=0,914$; на сьомому – $P=11,18$ мПа, $W_y=0,001569$ м/с, $C_{ф}/C_0=0,942$; на восьмому – $P=14$ мПа, $W_y=0,001511$ м/с, $C_{ф}/C_0=1$; .

- достатня кількість пресувальних витків шнекового пресу складає вісім витків. Після восьмого пресувального витка відносна концентрація олії досягає максимального значення $C_{ф}/C_0=1$.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є обґрунтування та оптимізація конструктивних параметрів та технологічних режимів процесу пресування мезги насіння рицини у розробленому експериментальному пресі.

Для цього необхідно вирішити наступні завдання:

- в ході проведення експериментальних досліджень перевірити адекватність математичної моделі процесу віджимання рицинової олії у шнековому пресі;
- оптимізувати конструктивні параметри і встановити технологічні режими шнекових пресів для віджимання олії із насіння рицини за допомогою розробленого розгорнутого каналу.

У відповідності з метою та завданнями, програмою досліджень передбачено:

1. Визначити раціональні конструктивні параметри шнекових пресів для віджимання олії із насіння рицини.
2. Дослідити вплив температури мезги, що подається до каналу на ефективність роботи експериментального пресу
4. Дослідити вплив ступеню стиснення кожного пресувального витка на ефективність роботи експериментального пресу
5. Дослідити вплив величини зазору між зєєрними пластинами на ефективність роботи експериментального пресу.
6. Визначити ефективність віджимання мезги насіння рицини окремих пресувальних витків шнекових пресів та шнекових пресів уцілому.
7. Визначити фільтраційні властивості мезги насіння рицини.

8. Встановити закономірність зміни ступеня стиснення (закон стиснення мезги) від номера пресувального витка для шнекових пресів при віджиманні олії із насіння рицини.

Проведення експериментальних досліджень на експериментальному пресі відбувалося у три етапи. Перший етап – це визначення достовірності результатів теоретичного дослідження шляхом порівняння їх з отриманими експериментальними даними. Другий етап – це встановлення оптимальних значень параметрів процесу пресування мезги насіння рицини на шнекових пресах з використанням методики планування багатофакторного експерименту. Третій етап – у відповідності до ГОСТ 19.301-79 «Программа и методы испытаний» та «СТ СЭВ 5630-86 «Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний» вивчалась робота розробленого пресу у лабораторних та виробничих умовах.

Відповідно до загальноприйнятих методик, що рекомендуються нормативними документами [40] та додаткових методик [163-165] виконували експериментальні дослідження. Для однотипних дослідів, методика їх проведення була однаковою. При дослідженні впливу окремих факторів створювали незмінність інших.

За допомогою методів математичної статистики [163-169] виконували обробку результатів експериментальних досліджень.

3.2 Характеристика об'єктів дослідження

3.2.1 Експериментальна установка для дослідження процесу пресування мезги насіння рицини у шнековому пресі

Вимоги до експериментальної установки:

- можливість змінювати і фіксувати температуру мезги насіння рицини, що подається до експериментального пресу;
- можливість змінювати і фіксувати зазор у зерних пластинах експериментального пресу;
- можливість змінювати і фіксувати вільний об'єм між пресувальними

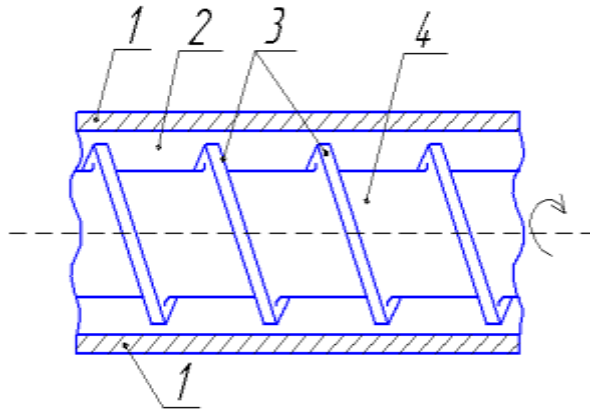
витками в експериментальному пресі;

- можливість змінювати швидкість руху валу гвинтового механізму;
- можливість змінювати ширину вихідної щілини;
- можливість змінювати продуктивність пресу;
- похибка вимірювальних приладів не повинна перевищувати 5% від вимірюваної величини;
- при дослідженнях, склад суміші та розміри її елементів повинні бути однаковими (виконується у відповідності з розділом 1.3.1);
- вихідна вологість мезги, що подається до експериментального пресу, повинна бути однаковою;
- умови роботи повинні максимально відповідати умовам роботи на аналогічних машинах.

Дотримання цих вимог забезпечить проведення експериментальних досліджень в рівнозначних умовах. Відповідно, результати таких експериментів можна використати для оцінки характеристик технологічного процесу пресування насіння рицини на шнекових пресах.

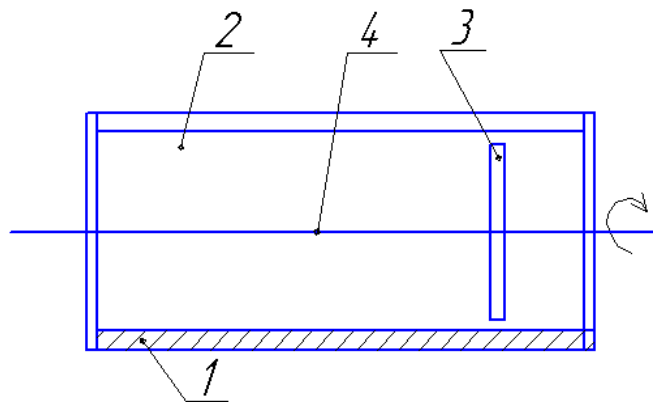
Дослідження одного пресувального витка на шнековому пресі викликає деякі труднощі: конструктивна зміна вільного простору між пресувальними витками призводить до значних матеріальних витрат, так як для проведення досліджень необхідна велика кількість шнекових пресів з різними конструктивними параметрами. Такі дослідження можна провести, застосувавши метод розгорнутого каналу, що надасть можливість змінювати конструктивні параметри шнекових пресів різних конструкцій в широких межах на одній експериментальній установці. Сутність методу полягає у наступному. Розгорнемо шнековий прес (рис. 3.1) на площину, замінивши відповідно хід мезги у гвинтовому каналі на хід у прямокутному каналі з рухомою бічною стінкою. Таким чином, кільцевий проміжок 2 між окремими двома пресувальними витками 3 шнека 4 (рис. 3.1) відображає повністю весь канал преса прямокутної форми 2 в розгорнутому вигляді (рис. 3.2). Пресувальний виток шнекового преса 3 (рис. 3.1) в розгорнутому вигляді

відображає рухому бічну стінку у вигляді поршня 3 (рис. 3.2). Зеерний циліндр 1 шнекового преса (рис. 3.1) в розгорнутому вигляді замінений зеерною планкою 1, що знаходиться знизу прямокутника (рис. 3.2). Таким чином, за допомогою такого розгорнутого каналу можна досліджувати окремо пресувальні витки шнекових пресів [170].



1 – зеерний циліндр; 2 – кільцевий проміжок; 3 – пресувальні витки шнеку; 4 - шнек

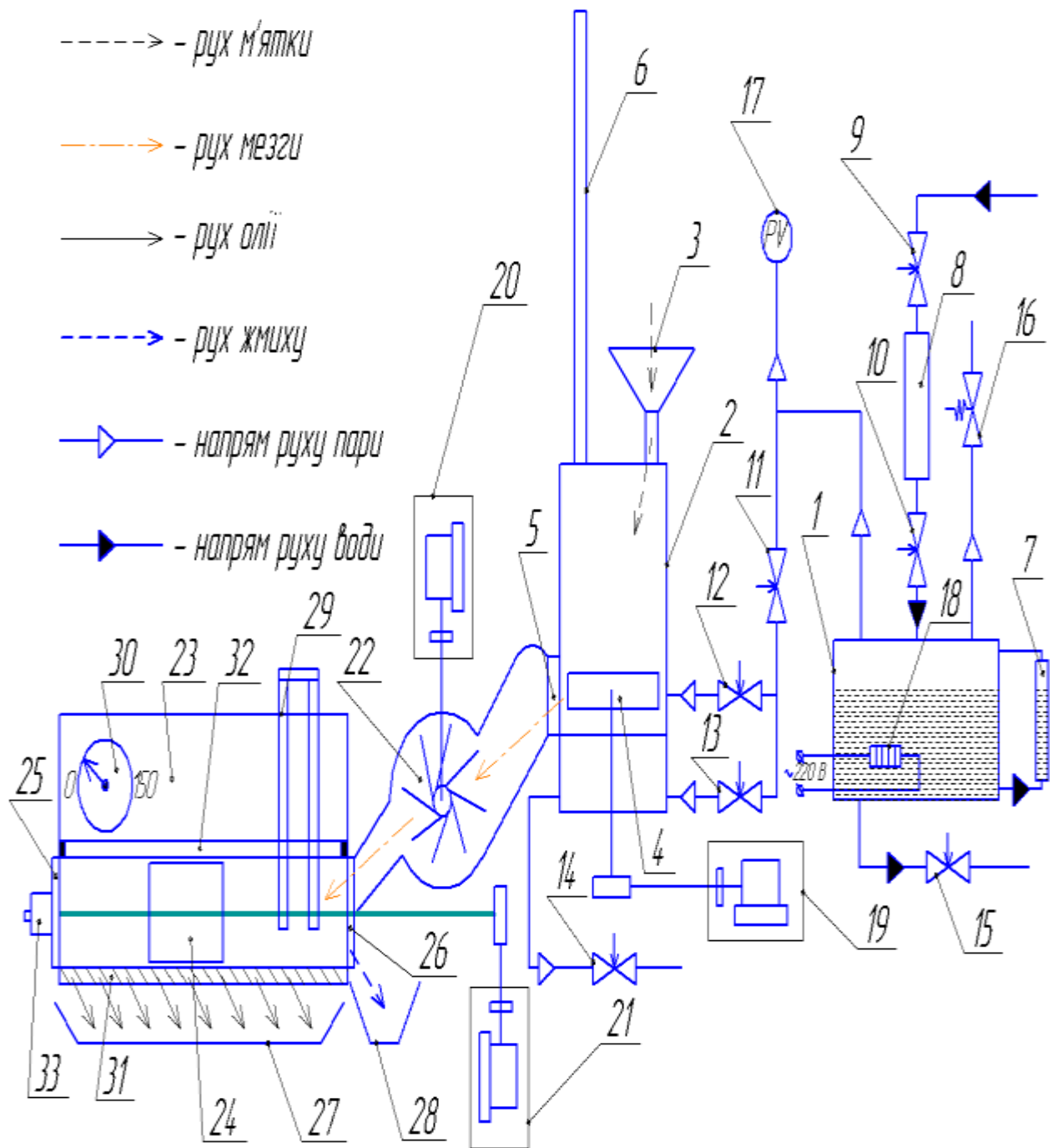
Рисунок 3.1 – Схема шнекового пресу



1 – зеерна планка; 2 – канал пресу; 3 – поршень; 4 - вал

Рисунок 3.2 – Розгорнутий вигляд шнекового пресу прямокутної форми

Дослідження технологічного процесу пресування олії із насіння рицини і визначення раціональних значень його параметрів виконані на експериментальній установці, технологічна схема якої представлена на рисунку 3.3. Загальний вигляд представлений на рис. 3.4. Конструктивна схема і загальний вигляд пресу представлені відповідно на рис. 3.5 та 3.6.

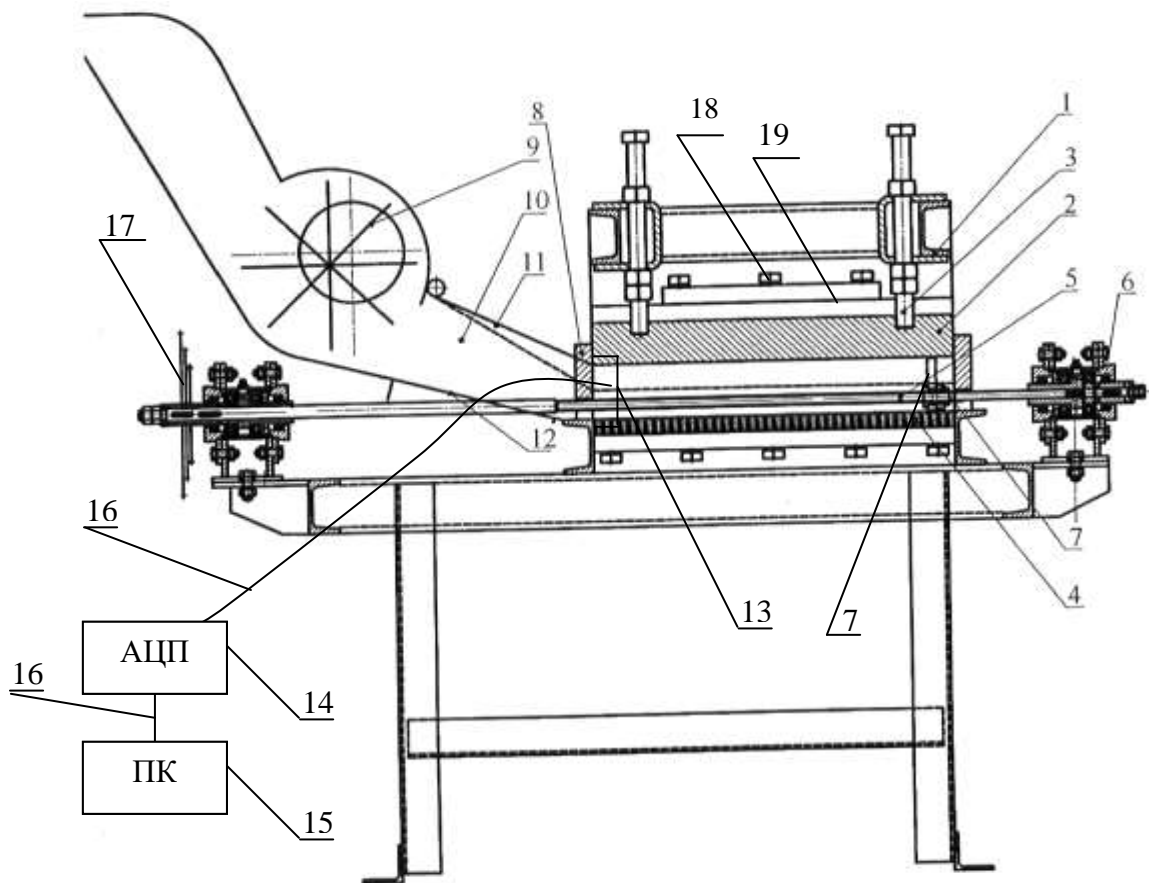


- 1 – парогенератор; 2 – жаровня; 3 – завантажувальний бункер;
 4 – мішалка; 5 – вивантажувальне вікно; 6 – труба для відведення парів;
 7 – мірне скло парогенератору; 8 – додаткова ємність для води;
 9-15 – прохідний регулюючий вентиль; 16 – зворотній клапан;
 17 – манометр; 18 – нагрівальний елемент; 19-21 – електродвигун з редуктором;
 22 – бітер; 23 – канал пресу; 24 – поршень пресу; 25-26 – знімна вставка каналу;
 27 – ємність для збирання олії; 28 – ємність для збирання макухи, 29 – нагрівальний елемент;
 30 – терморегулятор; 31 – зерні пластини, 32 – прижимна планка; 33 – напівоборотний кран.

Рисунок 3.3 – Технологічна схема експериментального комплексу для віджимання олії з олійної сировини



Рисунок 3.4 – Загальний вид експериментального комплексу для віджимання олії з олійної сировини



1 – станина, 2 – кришка каналу, 3 – регулювальні болти, 4 – камера з набором змінних зерних пластин, 5 – вал гвинтового механізму, 6 - опори валу, 7 – змінний поршень, 8 – змінні вставки каналу, 9 – ексцентриковий бітер, 10 - канал для подачі м'ятки до пресу, 11 – рухлива кришки каналу, 12 – знімна вставка каналу, 13 – тензовимірювальний елемент, 14 – аналого-цифровий перетворювач, 15 – персональний комп'ютер, 16 – з'єднувальні проводи, 17 – змінні зірочки, 18 – крипильні болти; 19 – прижимна кришка.

Рисунок 3.5 – Конструктивна схема розгорнутого каналу пресу [171]

Для забезпечення вихідної вологості мезги, що в подальшому подається на її пресування, здійснюється технологічний процес волого-теплової обробки м'ятки насіння рицини [44, 49, 172, 173], що описано у [77, 78, 174], де встановлені оптимальні параметри кінцевої вологості мезги для періоду зволоження та періоду сушіння.

Віджимання олії здійснюється в пресі (рис. 3.5). Для цього мезга через вивантажувальне вікно подається у канал з бітером 22, який обертається електродвигуном з редуктором 20. Своєю чергою, бітер 22 подає мезгу у канал



1 – мірна лінійка

Рисунок 3.6 – Загальний вигляд розгорнутого каналу

пресу 23 у певній кількості. При цьому, поршень 24 відведений у крайнє ліве положення. З метою підтримання постійної температури мезги після проведеної волого-теплової обробки, за допомогою нагрівального елемента 29, канал пресу 23 попередньо нагрівається до заданої температури, яка контролюється за допомогою терморегулятора 30. Після наповнення каналу пресу 23 мезгою закривається вставка каналу 26, вмикається електродвигун з редуктором 21, який рухає поршень 24. Останній, рухаючись вправо, здавлює мезгу. Олія, що віджимається при стисненні, через зерні пластини 31 (знаходяться в нижній частині пресу) потрапляє в ємність 27 для її збору. Частина макухи під час стиснення виходить через вихідну щілину, яка утворюється за допомогою напівоборотного крану 33, що встановлений на вставці каналу 25. Контроль зусилля при стисненні мезги здійснюється за допомогою тензорезистрів, що встановлені на вставці 26. Для видалення макухи із каналу 23 знімається вставка 26, вмикається електродвигун з редуктором 21 для переміщення поршня 24. Відпрацьована мезга

вичавлюється поршнем і виходить в нижню частину бітера 22, який має проріз для вивантаження. Олію, що потрапляє у ємність 27, вивантажують у буюкси для подальшого зважування.

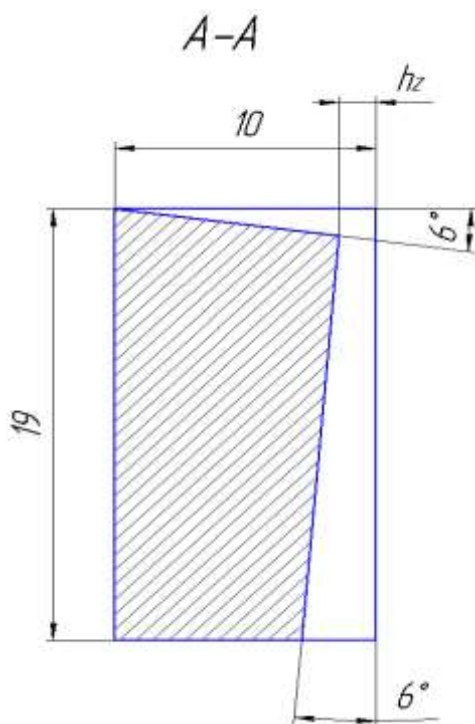
На експериментальній установці здійснювали незалежне варіювання наступних параметрів:

а) регулювання температури в каналі пресу – зміною значення температури за допомогою регулятора температури (поз. 30, рис. 3.3);

б) об'єму робочої зони каналу – зміною положення поршня (поз. 24, рис. 3.3) за довжиною каналу преса (поз. 23, рис. 3.3), що фіксується за мірною лінійкою (поз. 1, рис. 3.6);

в) зазору h_z в зерних пластинах (рис. 3.7), що знаходяться в нижній частині каналу пресу (поз. 23, рис. 3.3) - заміною зерної планки з пластинами із іншим зазором h_z (поз. 1, рис. 3.8);

г) швидкості валу (поз. 5, рис. 3.5), що переміщує поршень (поз. 24, рис. 3.3) – заміною зірочок (поз. 17, рис. 3.5). з іншим діаметром.

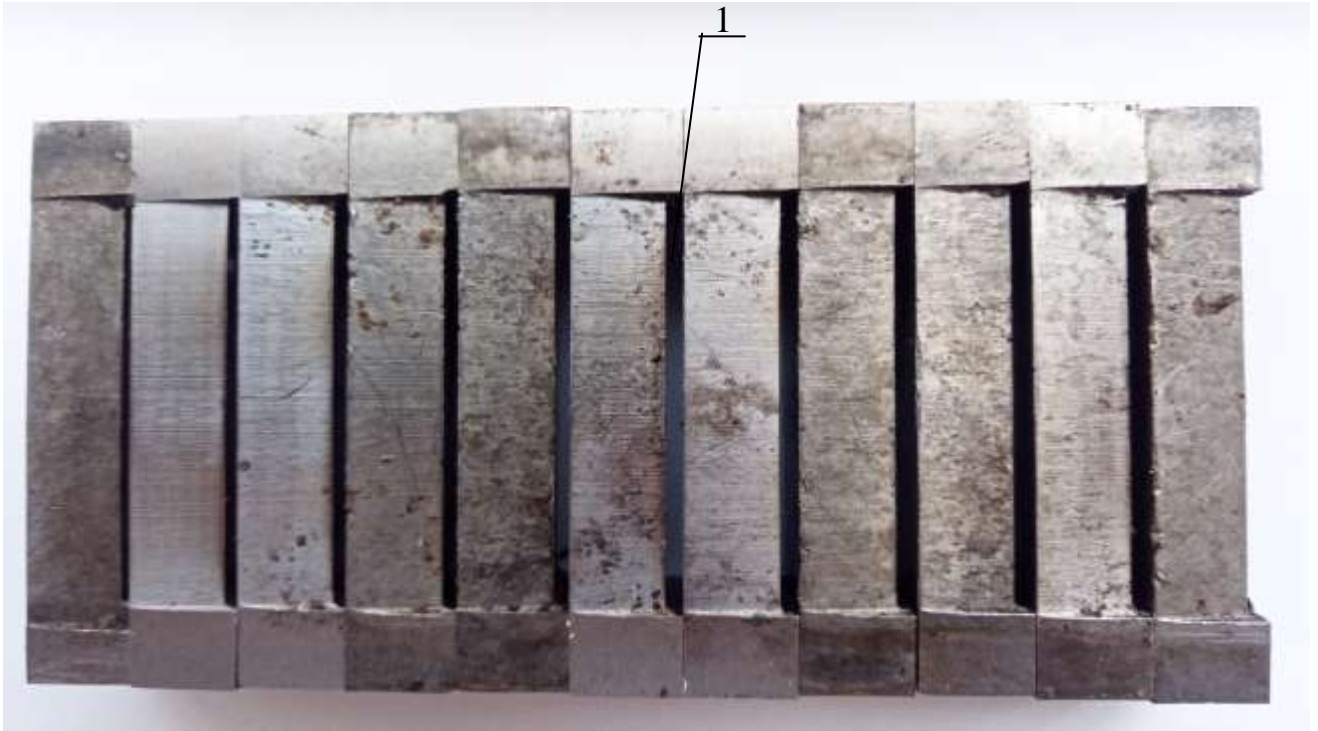


а)



б)

Рисунок 3.7 – Конструктивний вигляд з боку (а) та загальний вигляд зерної пластини



1 – зазор між зерними пластинами

Рисунок 3.8 – Зерна планка з набіром зерних пластин

Зважаючи на складний процес ущільнення мезги у пресі в загалі, встановити оптимальне співвідношення значень конструктивних параметрів шнекових пресів з технологічними режимами пресу важко. Тому, було прийнято рішення про незалежне варіювання значень конструктивних елементів каналу пресу та технологічних режимів, які необхідно встановити при вичавлюванні олії з олійної сировини за допомогою відповідних пристроїв. Дані про елементи регулювання та технологічні режими зведені до табл. 3.1.

Основні габаритні параметри розгорнутого каналу визначені експериментально з умов максимальної кількості мезги, що отримується із жаровні 2 (рис. 3.3) після проведеної волого-теплової обробки досліджуваної суміші. Довжина експериментального каналу складає $l=420$ мм, ширина $b=50$ мм. Висота каналу змінюється за допомогою переміщення доверху або донизу планки, що прижимає 32 (рис. 3.3) та складає $h=31,5\div 62,5$ мм. В залежності від положення прижимної планки 32, канал пресу 23 (рис. 3.3)

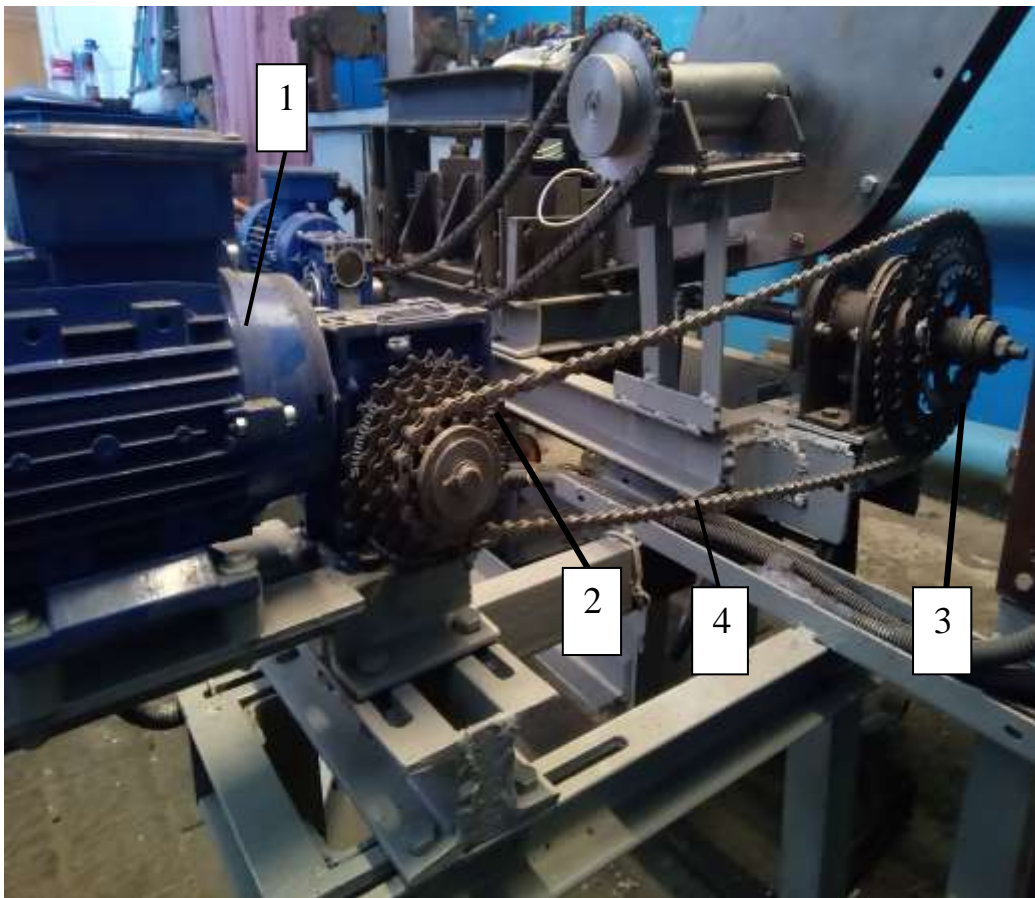
забезпечений трьома змінними поршнями 24 (рис. 3.3) із різною висотою та складає: $h_{n1}=31,5\text{мм}$; $h_{n2}=37,5\text{мм}$; $h_{n3}=62,5\text{мм}$.

Таблиця 3.1 – Регулювання елементів пресу та технологічних режимів

Конструктивний елемент	Регульований параметр	Діапазон варіювання	Прилади та обладнання
Зеєрні пластини	Зазор між зеєрними пластинами	$1,0\div 1,5\text{мм}$	Заміна зеєрних пластин
Нагрівальний пристрій	Температура мезги	$75^0\div 105^0$ (через 15^0)	Терморегулятор, що контролює встановлену температуру
Канал пресу	Довжина розташування	$l_1=400\div 20\text{мм}$, (в залежності від стиснення мезги)	Горизонтальне переміщення поршня за довжиною каналу
	Висота розташування	$h_1=31,5\div 62,5\text{ мм}$, $h_{11}=31,5\text{мм}$, $h_{12}=37,5\text{мм}$, $h_{13}=62,5\text{мм}$	Заміна поршня та вертикальне переміщення прижимної планки
Поршень, що стискує мезгу, вал пресу, електродвигун	Швидкість руху валу гвинтового механізму	$v_6=5\div 45\text{ об/хв}$ (через 5 об/хв)	Заміна зірочок, що встановлені на валу
Напівоборотний кран	Ширина вихідної цилінди	$\delta=5\div 45\text{ мм}$ (через 1мм)	Повернення ручки крану в сторону закриття або відкриття

Виділення олії із мезги – процес, який відбувається у часі: чим більше мезга буде знаходитися у зеєрі (більший час буде діяти на неї тиск), тим більш тривалий період олія буде стікати, тим нижче буде олійність макухи. Це відоме положення добре узгоджується з практикою роботи пресів: із зменшенням частоти обертання шнекового вала зменшується олійність макухи, а також зменшується і продуктивність шнеку, що підтверджено відомими дослідженнями [175]. Для забезпечення різної швидкості валу (поз. 5, рис.

3.5), встановлені зірочки різного діаметру (поз. 17, рис. 3.5 та поз. 2 і 3, рис. 3.9). Зв'язок валу (поз. 5, рис. 3.5) з електродвигуном, який має редуктор (поз. 21, рис. 3.3 та поз. 1, рис. 3.9) здійснюється за допомогою ланцюгової передачі (поз. 4, рис. 3.9). Зі сторони редуктора встановлений такий же набір зірочок різного діаметру (поз. 2, рис. 3.9). Відповідно, за допомогою двох комплектів зірочок забезпечується зміна швидкості обертання валу в межах $v_6=5\div 45$ об/хв через кожні 5 об/хв).



1 – електродвигун з редуктором; 2 – змінні зірочки зі сторони електродвигуна; 3 – змінні зірочки зі сторони валу преса; 4 – цепна передача
Рисунок 3.9 – Загальний вигляд приводу валу преса із змінними зірочками

Для виходу макухи з розгорнутого горизонтального каналу під час пресування на вставці (поз. 25, рис.3.3 та рис. 3.10) встановлений напівповоротний кран, за допомогою якого змінюється ширина вихідної щілини усередині напівповоротного крана. Збільшення або зменшення щілини здійснюється поворотом ручки крану. Вимірювання розмірів щілини здійснюється за допомогою щупів.



Рисунок 3.10 – Загальний вигляд знімної вставки каналу з напівповоротним краном

Для експериментальних досліджень використовувалися прилади та обладнання з наступними характеристиками.

Характеристики електродвигуна для приладу валу експериментальної установки:

- типорозмір – MS713-6;
- потужність – 0,37 кВт;
- частота обертання ротора – $n=819 \text{ об}^{-1}$

Характеристики редуктора, що з'єднаний з електродвигуном, який обертає вал на експериментальній установці:

- типорозмір – FCNDX40;
- співвідношення шестернів – 1:7,5;

Для зважування вихідної олії використовували ваги типу LCD з ціною поділки – 0,001 гр. та максимальною вагою зважування – 500 гр. (рис. 3.11)

Для підтримання температури мезги, що поступає до експериментального розгорнутого каналу, здійснювалося його нагрівання. Контроль за температурою каналу здійснювали за допомогою терморегулятора SANAL з діапазоном температур від 0 до 300°C (рис. 3.12).

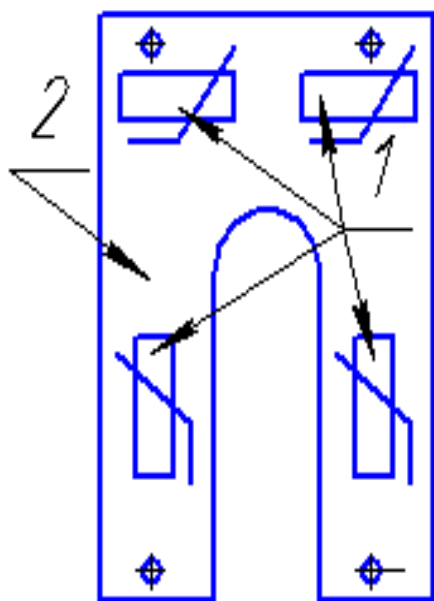


Рисунок 3.11 – Загальний вигляд ваг типу LCD



Рисунок 3.12 – Загальний вигляд терморегулятора

Для контролю тиску та зусилля, що розвивається в експериментальному розгорнутому каналі під час пресування мезги, застосоване тензометрування з використанням тензорезисторів. Так як під час свого переміщення, поршень (поз. 24, рис. 3.3) через мезгу передає зусилля на плиту 26 (рис. 3.3), то блок тензорезисторів встановлений на спеціальній балці 2 (рис. 3.13), яка прикріплена до цієї плити (рис. 3.14). Таким чином, плита 26 (рис. 3.3) експериментального розгорнутого каналу є пристроєм для виміру внутрішнього тиску, в яку встановлюється тензобалка з тензорезисторами. Тензорезистори 1 на тензобалці 2 (рис. 3.13) увімкнені за мостовою схемою таким чином, щоб за однакового опору всіх тензорезисторів вихідний сигнал дорівнював нулю. При збільшенні зусилля на тензобалку опір тензорезисторів, а відповідно і вихідного сигналу, буде теж змінюватися. Для контролю вихідного сигналу від тензорезисторів застосовано аналого-цифровий перетворювач «4К ТЕНЗО» (рис. 3.15) та програмне забезпечення, ліцензоване GNU General Public License [176]. Таке програмне забезпечення встановлюється на ноутбук, за допомогою якого контролювалася величина вихідного сигналу від тензорезисторів.



1 – тензорезистори; 2 – тензобалка
Рисунок 3.13 – Розміщення
тензорезисторів на тензобалці



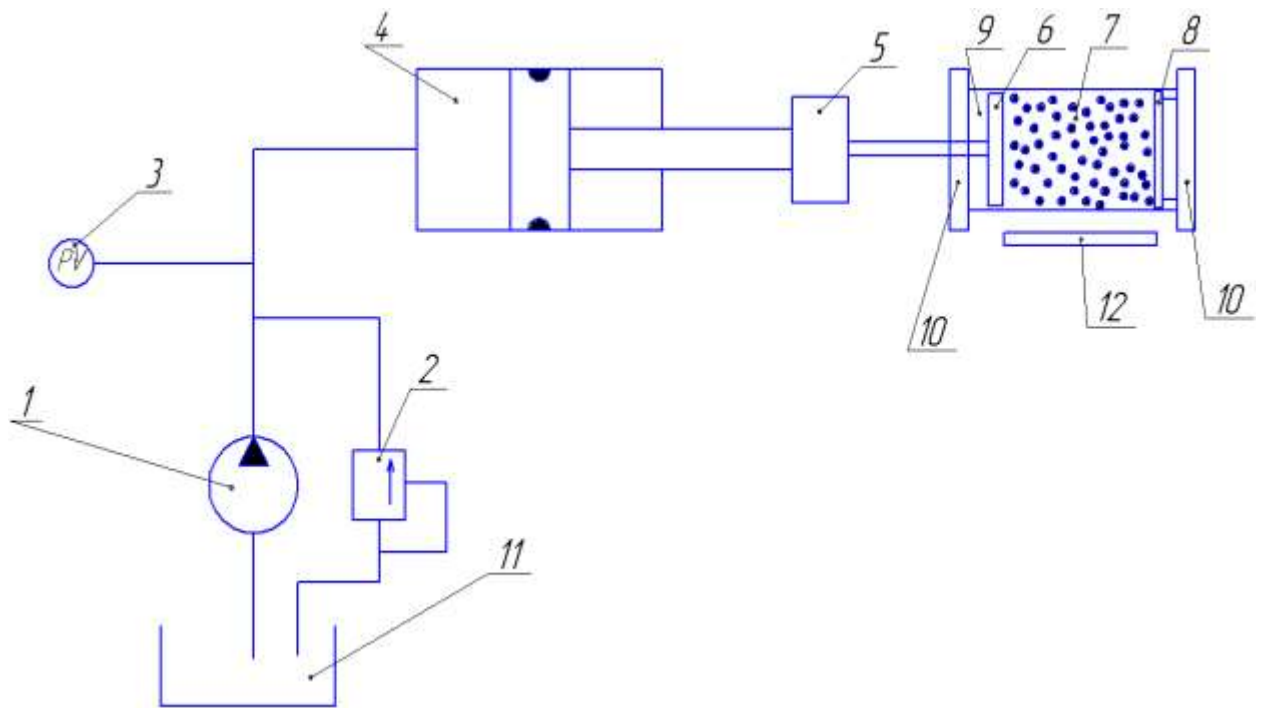
Рисунок 3.14 – Загальний вигляд
плити з тензобалкою



1 – вимірювальний пристрій; 2 – зелений світлодіод; 3 – червоний світлодіод; 4 – роз'єм підключення кабелю USB; 5-8 – роз'єми для підключення тензодатчиків (канал 1-4)

Рисунок 3.15 – Зовнішній вигляд вимірювального пристрою АЦП 4К ТЕНЗО [176]

Для того, щоб визначати тиск та зусилля, з яким діє поршень 24 на мезгу (рис. 3.3), необхідно провести тарування тензобалки з тензорезисторами. Такі експериментальні дослідження виконували за допомогою стенду для випробування гідроагрегатів КИ-4200 та експериментальної установки, технологічна схема якої приведена на рис. 3.16. Установка складається з каналу 9, в який засипається мезга насіння рицини, та поршня 6, що здавлює цю мезгу. З обох сторін канал 6 закривається плитами 10. За допомогою стенда КИ-4200 за подачею мастила у гідроциліндр 4, штовхач 5 рухає поршень 6.

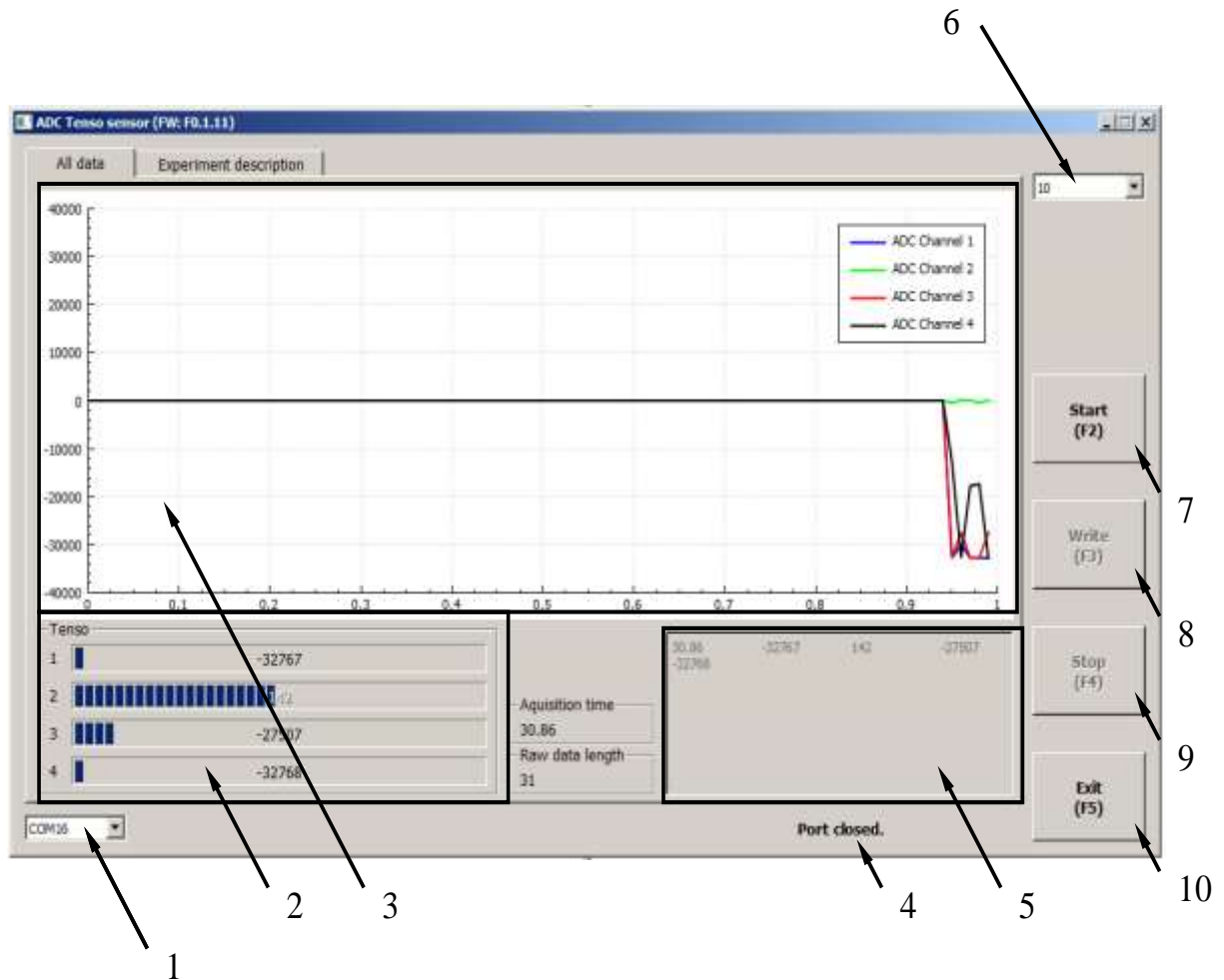


- 1 – насос; 2 – зворотній клапан; 3 – манометр; 4 – гідроциліндр;
 5 – штовхач; 6 – поршень; 7 – досліджуваний матеріал;
 8 – тензо-балка з тензорезисторами; 9 – канал; 10 – плита;
 11 – ємність з маслом; 12 – мірна лінійка.

Рисунок 3.16 – Схема тарування тензорезисторів

Дослідження проводили наступним чином. Попередньо приготовлену мезгу 7 засипали до каналу 9 (рис. 3.16). Далі цю масу закривали плитою 10, на якій встановлена тензобалка з тензорезисторами 8. Для отримання точних вимірювань здійснювали максимальне притискання плити 10 до каналу 9 постійно однаковим зусиллям на всіх чотирьох болтах. Перевірку затягнення болтів здійснювали динамометричним ключем. Дріт від тензорезисторів з'єднували з аналого-цифровим перетворювачем «4К ТЕНЗО» (рис. 3.15), оцифрований сигнал з якого поступав на ноутбук. Після під'єднання вимірювального пристрою до ноутбука запускали програму `adctensosensor.exe` (рис. 3.17) та фіксували значення вихідного сигналу (умовного опору) на ноутбуці від тензорезисторів. Це значення, що вимірюється в умовних одиницях, приймали за нульову позначку. Потім вмикали стенд для випробування гідроагрегатів КИ-4200. За допомогою насоса 1 створювали тиск, який фіксували манометром надлишкового тиску

3. Цей параметр фіксували через кожні 10 кг*с/см² до значення 140 кг*с/см². При цьому, мастило подавали насосом 1 до гідроциліндра 4. Під тиском починав рухатися штовхач 5 у гідроциліндрі 4. Відповідно, поршень 6 у каналі 9 переміщувався і здавлював мезгу 7. Через кожні 10 кг*с/см² (величина тиску контролювали за допомогою манометра 3), значення умовного опору від тензорезисторів фіксувалося на ноутбучі. Кожен дослід проводився з триразовою повторністю [177].



1 – вибір COM порту; 2 – дані чотирьох каналів у вигляді progress bar; 3 – графіки с даними; 4 – рядок статусу програми; 5 – текстові дані, що отримуються з COM порту; 6 – вибір кількості даних, що відображаються програмою в секунду на графіку; 7 – кнопка запуску; 8 – записування / зупинка запису даних у файл; 9 – зупинка програми; 10 – вихід із програми
Рисунок 3.17 – Головне вікно програми

Величину зусилля при кожному значенні тиску визначали за формулою:

$$F = P \cdot S, \quad (3.1)$$

де P - величина тиску, що створюється насосом, Па;

S - площа поршня гідроциліндра, м².

За отриманими даними побудовано тарувальний графік залежності умовного опору, значення якого фіксували на ноутбучі від величини зусилля тиску $\varepsilon_{ум}=f(P)$ (3.18) та величини зусилля $\varepsilon_{ум}=f(F)$ (рис. 3.19).

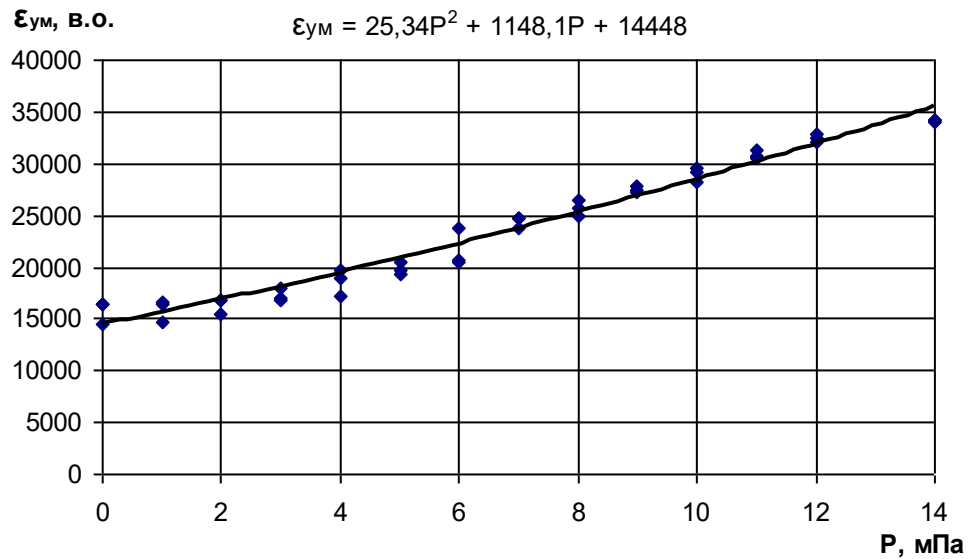


Рисунок 3.18 – Залежність умовного опору від величини тиску $\varepsilon_{ум}=f(P)$

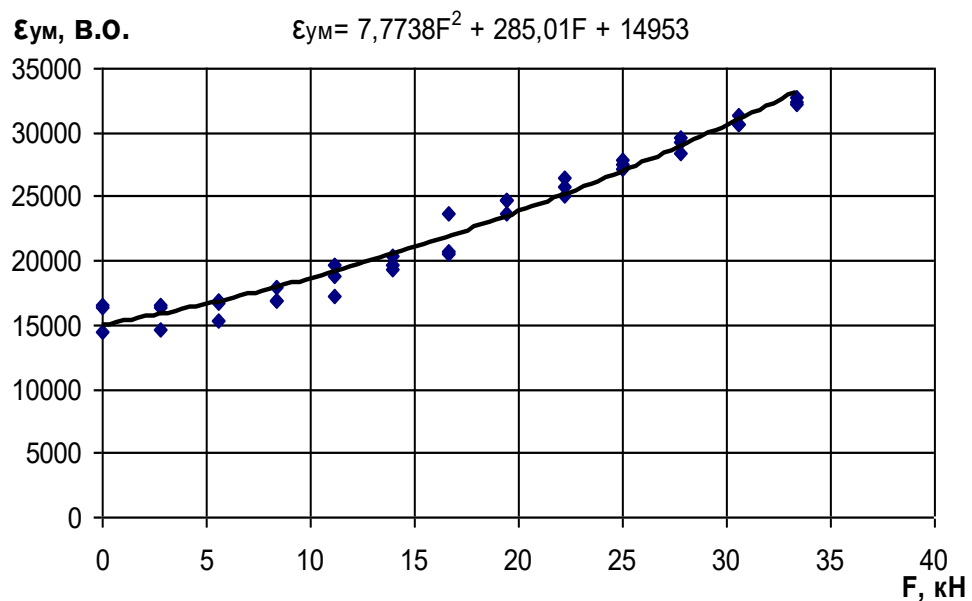


Рисунок 3.19 – Залежність умовного опору від величини зусилля $\varepsilon_{ум}=f(F)$

3.2.2 Технологічні властивості досліджуваної суміші

При проведенні експериментальних досліджень використовували рицину сорту Хортицька 7 [14, 18].

Для того, щоб забезпечити однаковий розмір елементів суміші (пункт 3.2.1 – вимоги до експериментальної установки), що подається на пресування, необхідно здійснити подрібнення насіння рицини перед волого-тепловою обробкою м'ятки з урахуванням її розмірів.

Фізико-механічні властивості, у тому числі і розміри насіння рицини сорту Хортицька 7 визначені за [20]: довжина насіння від 9,6 мм до 15,2 мм, ширина насіння від 6,6 мм до 9,4 мм, товщина насіння від 4,8 мм до 7 мм.

Подрібнення рицини до стану рушанки здійснювали на спеціальному вальцевому верстаті (рис. 3.20).



Рисунок 3.20 – Загальний вигляд вальцевого верстату

Вальцевий верстат складається із завантажувального бункера 1, робочої камери 2, рухомого 3 та нерухомого 4 подрібнювальних валків,

регулювального пристрою 5. Зазор між подрібнювальними валками встановлювали за допомогою регулювального пристрою 5, який пересуває рухомий валок 3. Протягом усіх подальших досліджень зазор між рухомим 3 та нерухомим 4 валками більше не змінювали. Проведеними попередніми дослідженнями встановлено, що із зменшенням зазору між подрібнювальними валками збільшується вихід фузу, через зазори між зеєрними пластинами (рис. 3.8) при пресуванні на експериментальному пресі (рис. 3.6). З урахуванням попередніх досліджень, а також досліджень [26] прийнято, що зазор між валками повинен складати 5,6 мм. Вимірювання зазору здійснювали за допомогою щупів.

Перед проведенням подрібнення насіння рицини обов'язково контролювали початкову вологість досліджуваного матеріалу. Вихідну вологість насіння рицини визначали за ГОСТ 5947-68 [178].

Згідно вимог до експериментальної установки (пункт 3.2.1), склад суміші при проведенні досліджень повинен бути однаковим. Компоненти насіння рицини – це ядриця та лушпиння. Відповідно, суміш насіння рицини може складатися тільки з ядриці, ядриці та лушпиння або ядриці та певної кількості лушпиння. Враховуючі дані [26], для забезпечення показників олії згідно ГОСТ 6757-96, який погоджено з Україною [46], насіння рицини подавалося на пресування з лушпинням, тобто без технологічної операції обрушення насіння рицини.

Для забезпечення однакової вихідної вологості мезги, що подається до експериментального пресу (пункт 3.2.1 – вимоги до експериментальної установки), перед пресуванням м'ятку рицини слід піддати волого-тепловій обробці у жаровні (рис. 3.3). Згідно [78], оптимальні параметри для віджимання олії з олійної сировини для процесу волого-теплової обробки м'ятки насіння рицини наступні:

- кінцева вологість мезги для періоду зволоження $W_{к.з}=9,1\dots10,7\%$;
- кінцева вологість мезги для періоду сушіння $W_{к.с}=5,7\dots6,7\%$;
- тиск пари, що гріє $p_{сп}=3,7\dots4,4$ кПа.

3.3 Оцінка похибок приладів та методів вимірювання при дослідженнях

При встановленні параметрів використовували власні методи визначення окремих показників процесу, а також загальноприйняті методики. Обробку експериментальних даних та побудову графічного зображення здійснювали за допомогою програмних середовищ: «Mathcad», «Statistika» та «Exel» та «Microsoft».

Показниками ефективності при віджиманні мезги насіння рицини у розгорнутому каналі прийнято відносну масу олії і відносну масу фузи, які можна представити у вигляді наступних критеріїв [117]:

$$\mu = \frac{m_o}{m_{зад}} \rightarrow \max, \quad (3.2)$$

$$\eta = \frac{m_\phi}{m_{зад}} \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

де μ – відносна маси олії, в.о.;

η - відносна маси фузи, в.о.;

m_o – маса олії після пресування мезги у розгорненому каналі, г.;

$m_{зад}$ – маса мезги перед пресуванням, г.;

m_ϕ – маса фузи після пресування мезги в розгорнутому каналі, г.

Аналізуючи залежності (3.2) та (3.3), приходимо до висновку, що при віджиманні мезги насіння рицини необхідно отримати максимальну відносну масу олії та мінімальну відносну масу фузи. Але, в процесі досліджень може виникнути протилежна ситуація: буде отримано мінімальну відносну масу фузи за мінімальної відносної маси олії. Тобто, збільшиться олійність вихідної макухи, що є не припустимим. Тому, у дослідженнях приймаємо

критерій (3.2) – як головний, а критерій (3.3) – як додатковий. Таким чином, при забезпеченні максимальної відносної маси олії бажано, щоб відносна маса фузи була мінімальною.

Автентичність одержаних результатів та адекватність обраних методів досліджень залежить від точності основних вимірів та приладів.

Основними параметрами, що підлягають визначенню в експериментальних дослідженнях, є:

- якість отриманого кінцевого продукту (відносна маса олії та відносна маса фузи);
- температура повітря в лабораторії;
- вага окремо олії, фузи та пустих бюкс;
- лінійне переміщення поршня у розгорнутому каналі;
- температура у середині розгорнутого каналу;
- величина тиску або зусилля, з яким тисне поршень на мезгу в експериментальному розгорнутому каналі;
- умовний опір (сигнал від тензорезисторів);
- розмірні характеристики конструктивних елементів розгорнутого каналу;
- швидкість обертання валу преса;
- зазор між валками вальцевого верстату;
- ширина вихідної щілини напівповоротного крану;
- початкова вологість насіння рицини.

Такі параметри, як вага, температура, лінійне переміщення і т.д. є результатом безпосереднього їх заміру. Точність цих вимірів буде залежати від точності приладів (мірної лінійки, щупів, терезів, термометра і т.д.). Величини відносної маси олії, відносної маси фузи, умовного опору, зусилля, тиску та початкової вологості насіння рицини є результатом непрямих замірів, і точність їх значень буде залежати як від точності приладів, що використовуються, так і від точності методів вимірювання. В зв'язку з цим, розглянемо можливі похибки вимірів параметрів в експериментах:

- для встановлення зазору між валками вальцевого верстату використовували щупи за ГОСТ 882-75 з точністю вимірювання 0,01 мм;
- температуру повітря у лабораторії визначали за допомогою ртутного термометру ТЛ-4 ГОСТ 215-73 з точністю $\pm 0,1$ °С;
- контроль температури у середині розгорнутого каналу здійснювали за допомогою терморегулятора SANAL з ціною поділки 5°С;
- вимірювання маси олії, фузи та насіння рицини здійснювали на електронних терезах типу LCD (4 клас точності) з ціною поділки 0,001 г;
- для фіксації ступенів стиснення мезги в середині розгорнутого каналу використовували мірну лінійку з ціною поділки 1 мм (рис. 3.6), а для фіксації лінійних розмірів використовували штангенциркуль;
- для контролю перевантаження електродвигуна, що обертає вал гвинтового механізму 5 із поршнем 7 (рис. 3.5), використовували амперметр змінного струму з максимальним виміром струму 0,5 А, клас точності якого складав 0,5 и ціна поділу – 0,2 А (рис. 3.21);



1 – амперметр

Рис 3.21 – Блок управління експериментальною установкою

- для встановлення ширини вихідної щілини у поворотному крані (поз. 33, рис. 3.3) використовували щупи за ГОСТ 882-75 з межею вимірювання 0,01 мм;

- контролювання швидкості обертання валу пресу здійснювали за допомогою лазерного безконтактного тахометру PS2234 з ціною поділки 1,0 об/хв.

- при встановленні початкової вологості насіння рицини визначалася з урахуванням [178] маса сухої речовини досліджуваного матеріалу. Для цього використовували сушильну електричну шафу типу 2В-151 з діапазоном температур від 40 до 200 °С. Межа відхилення температури шафи у встановленому режимі складає ± 2 °С.

3.4 Методика експериментальних досліджень

3.4.1 Визначення ефективності процесу пресування мезги насіння рицини

3.4.1.1 Методика встановлення ступеню стиснення окремого пресувального витка

У пресів, що випускає промисловість у більшості відсутні данні стосовно ступеню стиснення мезги на кожному пресувальному витку. Ступінь стиснення мезги, що отримана тиском вільного об'єму першого витку на вільний об'єм наступного витка, визначена у [5] для пресів ФП в незалежності від їх продуктивності. Однак, ця ступінь стиснення не є ступенем стиснення мезги в пресі. Після останнього витка у шнекових пресів є передконусна камера, де вільний об'єм також зменшується. Крім цього, після передконусної камери є регульовальний пристрій тієї або іншої конструкції, який створює протитиск, що також визиває стиснення мезги. Відповідно, теоретичний ступінь стиснення мезги ε_{np}^m можна визначити як ступінь стиснення мезги, що створюється шнековим валом $\varepsilon_{ш.в}$, помножену на деякий коефіцієнт, величина якого залежить від положення регульовального пристрою. Для визначення фактичного ступеня стиснення мезги кінцеве рівняння має вигляд [5]:

$$\varepsilon_{\phi} = 0,97[\varepsilon_{np}^m - (21,8 - 1,16 \cdot \delta)], \quad (3.4)$$

де ε_{np}^m - теоретичний ступінь стиснення, в.о.;

δ - ширина вихідної щілини, при якій працює прес, мм.

Своєю чергою [5]:

$$\varepsilon_{np}^m = \frac{10,2 \cdot \varepsilon_{ш.в}}{\delta^{0,85}}, \quad (3.5)$$

де $\varepsilon_{ш.в}$ - ступінь стиснення, що створюється шнековим валом, в.о.

Таким чином, при дослідженнях, в експериментальному розгорнутому каналі необхідно забезпечити фактичний ступінь стиснення кожного пресувального витка, який у будь-якому разі при визначеному ступені стиснення мезги, що створюється шнековим валом ($\varepsilon_{ш.в}$), буде залежати від ширини вихідної щілини δ . При проведенні пошукового експерименту [165] встановлено, що при оптимальних параметрах волого-теплової обробки мезги насіння рицини [77, 78, 174], достатня ширина вихідної щілини складає $\delta = 6 \text{ мм}$.

З урахуванням формул (3.4) та (3.5), результати розрахунку фактичного ступеню стиснення ε_{ϕ} на кожному пресувальному витку при ширині вихідної щілини $\delta = 6 \text{ мм}$ та ступеню стиснення мезги, який створюється шнековим валом $\varepsilon_{ш.в}$ пресу ФП, наведені у табл. 3.2 [5].

Данні, що наведені у табл. 3.2, обрані за основу у подальших дослідженнях. Але, для визначення раціональних значень фактичного ступеню стиснення на кожному пресувальному витку шнекових пресів із забезпеченням інших параметрів, що впливають на вихід олії, зроблено відхилення в більшу та меншу сторону таким чином, щоб всі можливі

значення ступеню стиснення були враховані. Згідно з [40] обмеження за тиском, що створюється в пресі (як правило на останньому пресувальному витку), складає 14 мПа.

Таблиця 3.2 – Фактичний ступінь стиснення у пресів типу ФП при $\delta = 6\text{мм}$ [5]

Тип пресу	Номер пресувального витка							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ФП	1,42	1,64	1,94	3,67	4,85	5,71	6,79	8,92

При проведенні досліджень на експериментальному розгорнутому каналі зміну вже розрахованого фактичного ступеня стиснення кожного пресувального витка ε (табл. 3.2) здійснювали за алгоритмом, який розкриває наступна формула:

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_n}, \quad (3.6)$$

де V_1 - першопочатковий об'єм мезги в експериментальному розгорнутому каналі, см^3 ;

V_n - кінцевий об'єм мезги, який створюється шляхом зміни довжини розгорнутого каналу за незмінної ширини та висоти каналу см^3 .

Відповідно, при встановлених розмірах (довжині, ширині та висоті) експериментального розгорнутого каналу, величина V_1 буде постійною ($V_1 = \text{const}$). Для забезпечення необхідного ступеня стиснення, змінюється величина V_n шляхом зміни ходу поршня (поз. 24, рис. 3.3), який буде зменшувати довжину розгорнутого каналу за незмінної ширини та висоти каналу.

Методика досліджень наступна:

1. З урахуванням даних, що наведені у табл. 3.2, для відповідного пресувального витка, задаємося відповідним фактичним ступенем стиснення для експериментального розгорнутого каналу.

2. Об'єм розгорнутого каналу визначається як довжина каналу помножена на його ширину та висоту. Тоді, при незмінній ширини та висоти каналу, необхідне переміщення поршня за довжиною визначали за формулою

$$l_n = l_1 - \frac{l_1}{\varepsilon}, \quad (3.7)$$

де l_1 - загальна довжина розгорнутого каналу, мм.

3. Завантажуємо мезгу насіння рицини (обов'язково після проведеної волого-теплової обробки) до розгорнутого каналу в необхідному об'ємі та вмикаємо за допомогою пульта керування (рис. 3.21) електродвигун пресу.

4. Зупиняємо електродвигун при досягненні поршнем заданого переміщення. Контроль ходу поршня за довжиною здійснюємо за допомогою мірної лінійки (рис. 3.6).

5. Матеріал, що отримано в ємності для збирання олії (поз. 27, рис. 3.3), зважуємо та за допомогою фільтра для механічних домішок розділяємо на олію і фузу.

Фільтр для механічних домішок складається з фільтрів, які виконані з фланелі, а тому є гігроскопічними. Перед кожним дослідом такий фільтр доводився до постійної ваги шляхом витримування протягом 4 годин в сушильній шафі СЕШ-3М за температури 105^0 . Далі фільтри для механічних домішок протягом години охолоджували в ексикаторі, потім – зважували на електронних терезах типу LCD (4 клас точності). Після цього, відокремлювали олію від фузи. Повторно фільтр не використовувався.

6. Визначаємо вагу окремо фузи та олії

7. Після закінчення дослідів перевіряли:

- відносну масу олії за (3.2);

- відносну масу фузи за (3.3);

Аналогічно проводилися наступні досліди з іншим ступенем стиснення.

3.4.1.2 Методика забезпечення необхідної температури мезги під час пресування

Окрім тиску, що розвивається в пресі, на глибину віджиму олії впливає температура самого процесу пресування. На холодному, не розігрітому пресі, не можливо забезпечити формування міцної макухової ракушки і необхідну глибину віджиму. Висока температура в зерному просторі під час віджиму олії визиває підгоряння поверхні макухи, що сприяє денатурації білків, зміні кольору олії та підвищенню олійності макухи, а відповідно, і зменшенню продуктивності [42].

У відповідності із [2, 42, 76], температура мезги, що подається до пресу, а відповідно для її підтримки і температура самого пресу повинна бути не нижче 70°C. Враховуючи дослідження волого-теплової обробки рушанки насіння рицини [77, 78, 174], межі температури каналу встановлені на рівні від 75°C до 105°C з інтервалом у 15°C.

З урахуванням попередніх експериментів встановлено, що в залежності від температури в приміщенні, потужності нагрівального елемента та необхідної температури каналу максимальний час нагріву каналу до температури 105 °C складає 45 хвилин. Окрім цього за допомогою температурного індикатора з межею вимірювання 0...150 °C, який було встановлено у середину каналу, виявлено, що після нагріву до заданої температури та відключенні нагрівального елемента відбувається де-яка інерційність процесу. Тобто температура у середині каналу продовжує збільшуватися. Інерційність процесу після виключення нагрівального елемента складає 7°C і триває на протязі 4 хвилин.

Тому, з урахуванням вище викладеного, фіксування температури на терморегуляторі здійснювали згідно табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Значення температури, що встановлюється на терморегуляторі з урахуванням інерційності процесу дослідження

Температура, що встановлюється на терморегуляторі, °С.	Температура, що задається у відповідності з дослідженнями, °С
68	75
83	90
98	105

Методика досліджень наступна:

1. З урахуванням даних, які наведені у табл. 1, для відповідного пресувального витка, встановлюємо на терморегуляторі задану температуру.
2. Враховуючи час нагрівання розгорнутого каналу, вмикаємо нагрівальний елемент (поз. 29, рис. 3.3).
3. При досягненні заданої температури, завантажуюмо мезгу насіння рицини (обов'язково після проведеної волого-теплової обробки) до розгорнутого каналу в необхідному об'ємі та вмикаємо за допомогою пульта керування (рис. 3.21) електродвигун пресу.
4. Далі – виконуються дії згідно пунктів 4....7 розділу 3.4.1.1

3.4.1.3 Методика встановлення величини зазору між зерними пластинами розгорнутого горизонтального каналу

Окрім тиску, що розвивається в зері та температури самого процесу пресування, на глибину віджиму олії впливає величина зазору між зерними пластинами (рис. 3.8). Із збільшенням зазору між зерними пластинами окрім олії, що віджимається із мезги насіння рицини та просочується між зерними пластинами, будуть попадати і частинки мезги. Із зменшенням зазору між зерними пластинами кількість частинок, що попадають до олії, будуть зменшуватися, але також буде зменшуватися і кількість віджатої олії. Тому, величина зазору між зерними пластинами повинна забезпечити витікання віджатої олії та не пропускати частинок мезги.

Величина зазору між зерними пластинами змінюється безпосередньою заміною самих пластин, які виготовлені з іншим зазором h_z (рис. 3.7)

Для заміни планки із зерними пластинами з іншою величиною зазору необхідно зняти змінні вставки каналу 8 (рис. 3.5), ослабити регулювальні болти 3, зняти шість крипільних болтів 18 та прижимну кришку 19. Підіймаючи регулювальні болти 3, витягнути в сторону кришку каналу 2. Зняти опору валу 6 та витягнути вал 5 зі змінним поршнем 7. Після цього зняти камеру з набором змінних зерних пластин 4 та вставити інші зерні пластини з іншим зазором. Все зібрати в обратному порядку.

Подальша методика досліджень повторюється згідно пунктів 3.4.1.1 та 3.4.1.2.

3.4.2 Планування факторного експерименту

Максимальна кількість олії із насіння рицини буде забезпечуватися тільки за оптимальних значень конструктивно-технологічних параметрів пресування мезги насіння рицини. Визначення цих параметрів, здійснювали, застосовуючи методику математичного планування експерименту при проведенні досліджень.

Завдання планування експерименту зводиться до пошуку регресійної математичної моделі об'єкту дослідження у вигляді рівняння регресії, яке може бути або першого, або другого ступеню [163]. Етапи побудови і безпосередньо подальше дослідження математичних моделей повинно виглядати у наступному [68, 165]:

- попереднє дослідження об'єкту;
- вибір критеріїв оптимізації, встановлення впливовості чинників;
- побудова регресійної математичної моделі та оцінка її адекватності і відтворюваності;
- використання моделі для оптимізації досліджуваного процесу.

Функцією відгуку є параметр, за яким буде оцінено об'єкт, що досліджується і який буде зв'язувати чинники в математичну модель.

Функцією відгуку обрано критерій ефективності – відносну масу олії, яка визначається як відношення маси олії, що отримано в окремому експерименті при дії встановлених значень факторів, до маси мезги, що завантажувалася до розгорнутого каналу перед пресуванням.

Факторами, які діють на процес пресування мезги насіння рицини виявлено наступні: ступінь стиснення мезги, визначався відношенням першопочаткового об'єму мезги, яку завантажували до розгорнутого каналу, до кінцевого об'єму матеріалу для відповідного пресувального витка, що обумовлений визначеним тиском при стисненні; температура мезги усередині каналу; величина зазору у зерних пластинах розгорнутого каналу; швидкість руху валу гвинтового механізму; ширина вихідної щилини; довжина та висота каналу; початкова вологість насіння рицини; величина подрібнення насіння у рушанку, технологічні режими волого-теплової обробки м'ятки насіння рицини.

Після фіксації значень чинників, що є базовими та менш впливовими, виділено три, що визначають процес: ступінь стиснення мезги кожного пресувального витка; температура мезги усередині каналу та величина зазору у зерних пластинах розгорнутого каналу.

Порядок проведення дослідів був наступним. Для трифакторного експерименту згідно стандартної матриці [165] на експериментальному розгорнутому каналі фіксували одне із значень факторів на нижньому або верхньому рівні. Потім попередньо підготовлену мезгу після проведеної волого-теплової обробки поміщали до розгорнутого каналу з постійно однаковою масою та здійснювали її пресування. За одержаними даними після пресування мезги визначали критерій оптимізації – відносну масу олії. Результати проведення експериментальних досліджень, побудова рівняння регресії, їх статистична обробка і оптимізація досліджуваного процесу викладені у 4 розділі дисертаційної роботи.

Методика обробки експериментальних даних викладена у додатку А.

3.4.3 Методика визначення фільтраційних властивостей мезги насіння рицини

Процеси пресування олійних матеріалів супроводжуються фільтраційним рухом рідкої фази в пористому середовищі, що деформується [178]. Для оцінювання фільтраційних властивостей мезги насіння рицини визначають коефіцієнт проникності K_{np} , коефіцієнт фільтрації K_{ϕ} та швидкість фільтрування олії v_{ϕ} [180], що характеризує одночасно фільтроване середовище (залежить від пористості мезги ψ) та рідину (залежить від в'язкості рідини μ , що фільтрується) [181].

Коефіцієнт проникності пов'язаний із пористістю через рівняння Козені-Кармана [182]:

$$K_{np} = \frac{\psi^3}{c \cdot S^2}, \quad (3.8)$$

де ψ - пористість мезги;

c - константа форми пор;

S - питома поверхня середовища, що визначається відношенням загальної площини поверхні частинок дисперсної фази до її об'єму, 1/м.

Коефіцієнт фільтрації пов'язаний із в'язкістю рідини та тиском, що створюється механізмом подачі рідини на фільтрацію через закон Дарсі [181]:

$$K_{\phi} = \frac{Q_p \cdot \mu_0 \cdot h}{F \cdot P}, \quad (3.9)$$

де Q_p - об'ємна витрата олії через фільтр (зеєрні пластини), м³/с;

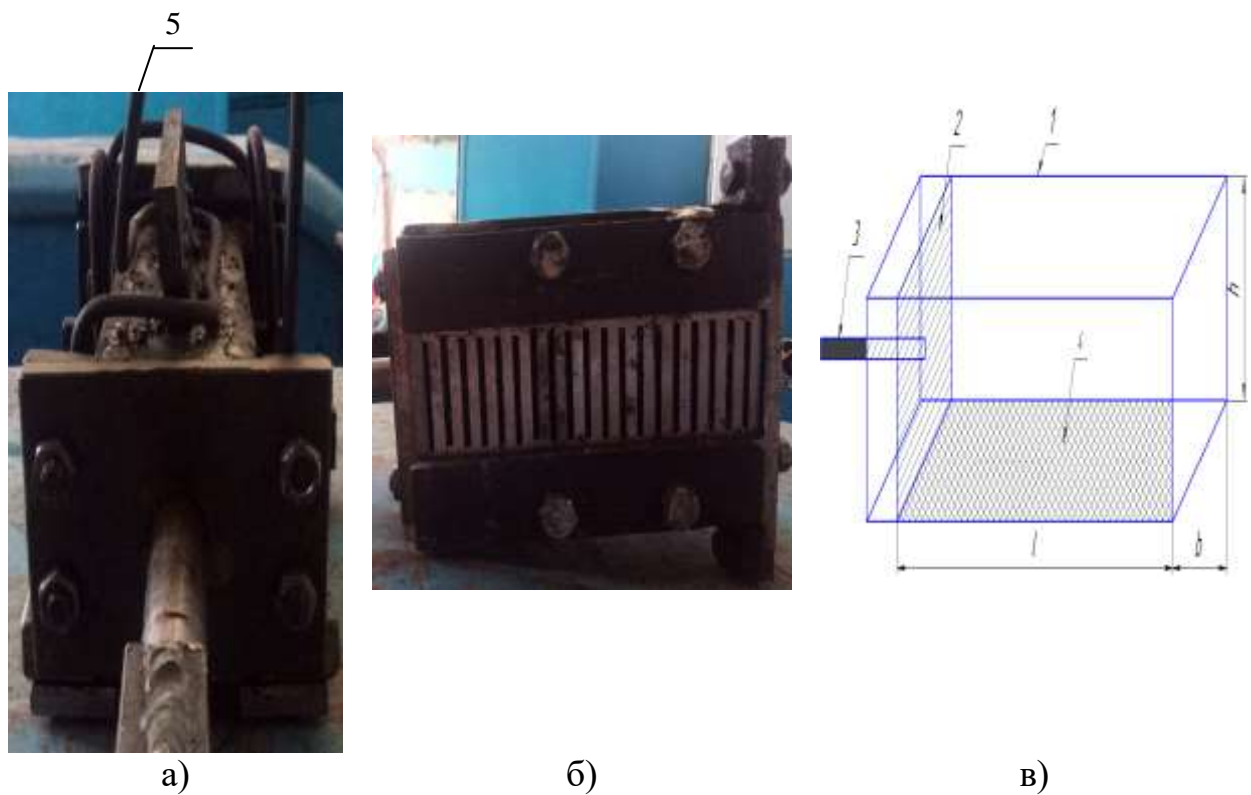
μ_0 - коефіцієнт динамічної в'язкості рідини, Па·с;

h - висота шару мезги, м;

F - площа поверхні фільтрування, м²;

P - тиск, що створюється пресом, Па.

При визначенні коефіцієнта проникненості K_{np} , коефіцієнта фільтрації K_f і його зв'язку із тиском P та пористістю ψ мезги використовували метод, в основі якого лежить динамічне навантаження на досліджуваний матеріал. При проведенні досліджень використовувався стенд для випробування гідроагрегатів КИ-4200 з експериментальною установкою, технологічна схема якої приведена на рис. 3.16. Загальний вигляд експериментального пристрою представлений на рис. 3.22 а, загальний вигляд знизу – на рис. 3.22 б, конструктивна схема – на рис. 3.22 в.



1 – канал експериментального пристрою; 2 – поршень, що рухається в каналі; 3 – штовхач; 4 – нижня стінка із зерною планкою; 5 – нагрівальний пристрій; l – довжина каналу; b – ширина каналу; h – висота каналу

Рисунок 3.22 – Експериментальний пристрій для визначення коефіцієнту фільтрації: а) – загальний вигляд; б) – вид знизу; в) – конструктивна схема

Визначена наступна послідовність проведення досліджень:

1. Вихідну мезгу із відповідними їй показниками у кількості $m_{вих}$ завантажували у канал експериментального пристрою (рис. 3.22 в, поз 1). З обох сторін канал закривали плитами (рис. 3.16 поз. 10).

2. За допомогою стенду для випробування гідроагрегатів КИ-4200 здійснювали рух штовкача 3, що приводить до руху поршень 2 (рис. 3.16) до необхідного значення ступіню стиснення (розділ 3.4.1.1). Контроль величини ступеня стиснення здійснювався за мірною лінійкою 12 (рис. 3.16). При заданій величині ступеню стиснення манометром фіксували значення тиску, що створювався гідроагрегатом КИ-4200. При відповідному значенні тиску здійснювали витримку на протязі 3 секунд, що відповідає фіксованому значенню швидкості (20 об/хв) обертання шнекового валу [40].

Олію, що вийшла через нижню зону (зерні пластини) експериментального пристрою (рис. 3.22 б), збирали у бюксу, яку попередньо зважували на аналітичних вагах (рис. 3.11). Потім зважували цю бюксу із олією і визначали окремо масу олії. Після цього здійснювався рух поршня 2 (рис. 3.16) до наступного значення ступеню стиснення та повторення вищезгаданих операцій. Кожен дослід проводився з триразовою повторністю.

3. Температуру в середині каналу експериментального пристрою підтримували за допомогою нагрівального пристрою 5 (рис. 3.22 а) за методикою, викладеною у розділі 3.4.1.2.

4. Виходячи з визначення «Пористість осаду – це безрозмірна величина, що характеризує об’єм пор до об’єму твердої фракції осаду», визначали коефіцієнт пористості для кожного значення ступеню стиснення (тиску) за формулою [181]:

$$\varepsilon_n = \frac{V_n}{V_{me}}, \quad (3.10)$$

де V_n - об’єм пор, м³;

V_{me} - об’єм твердого осаду, м³.

В якості об’єму твердого осаду приймали об’єм мезги, що отримано на останньому ступені стиснення.

Внутрішні розміри каналу наступні (рис. 3.22 в): ширина каналу (шару мезги) – $b=0,05$ м (величина незмінна); висота каналу (шару мезги) – $h=0,065$ м (величина незмінна); довжина каналу (шару мезги) – $l=0,0\dots0,165$ м (величина змінна). Необхідна довжина каналу змінюється з урахуванням ступеня стиснення, що визначено за методикою розділа 3.4.1.1. Відповідно, об'єм пор визначали за формулою:

$$V_n = l \cdot h \cdot b \quad (3.11)$$

5. Об'єм олії, який отримано на кожному ступені стиснення, визначали за формулою:

$$V_{ол} = \frac{m_{ол}}{\rho_{ол}}, \quad (3.12)$$

де $m_{ол}$ - маса олії, що отримана при дослідженнях, кг;

$\rho_{ол}$ - щільність рицинової олії, $\rho_{ол} = 960$ кг/м³ [46].

6. Об'ємну витрату олії на кожному ступеню стиснення через зерні пластини площиною F_ϕ , визначали за формулою:

$$Q_{ол} = \frac{V_{ол}}{\tau_\phi}, \quad (3.13)$$

де τ_ϕ - час витримки на кожному ступеню стиснення, с, $\tau_\phi = 3$ с [40].

7. Швидкість фільтрування олії визначали за формулою

$$v_\phi = \frac{Q_{ол}}{F_\phi}, \quad (3.14)$$

де F_ϕ - площа фільтрації олії, м², $F_\phi = l \cdot b$.

8. Коефіцієнт фільтрації (K_ϕ) для кожного ступеню стиснення визначали за формулою 3.9. В цій формулі присутній коефіцієнт динамічної в'язкості рідини, μ , Па·с. Для рицинової олії в залежності від її температури цей коефіцієнт визначається за [161].

Коефіцієнт проникненості (K_{np}) залежить від коефіцієнта фільтрації (K_ϕ), та пов'язаний залежністю [180]:

$$K_{np} = \frac{K_\phi \cdot \nu}{g}, \quad (3.15)$$

де ν - кінематична в'язкість рідини, що фільтрується, м²/с;

g - прискорення сили тяжіння, м/с².

Кінематична в'язкість рідини, що фільтрується, визначається за формулою

$$\nu = \frac{\mu_0}{\rho}. \quad (3.16)$$

3.4.4 Методика встановлення закону стиснення мезги насіння рицини у шнекових пресах

Згідно з [5] закон стиснення мезги в шнековом валу преса можна описати ступеневою функцією:

$$\varepsilon = \frac{V_{1n}}{V_{nn}} = n^\lambda, \quad (3.17)$$

де V_{1n} - вільний об'єм першого завантажувального пресувального витка, см³;

V_{nn} - вільні об'єми наступних пресувальних витків, см³;

n – порядковий номер пресувального витка шнекового валу;

λ - значення ступеню, що описує стиснення мезги для кожного пресувального витка шнекового валу преса.

Якщо врахувати рівняння (3.17), то конструктивні параметри шнекових пресів для віджимання олії із насіння рицини для будь-якої продуктивності можна визначити через вільні об'єми між пресувальними витками за формулою:

$$V_{nn} = \frac{V_1}{n^\lambda}. \quad (3.18)$$

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Всі проведені експериментальні дослідження процесу пресування мезги насіння рицини виконані з урахуванням типових методик і методик, що описано у розділі 3, та передбачали визначення основних технологічних режимів при пресуванні, оптимальних конструктивних параметрів шнекових пресів.

На основі інформації, що отримана перед проведеннями експериментів визначено, що на процес пресування мезги насіння рицини впливають такі фактори:

- висота розгорнутого каналу;
- довжина розгорнутого каналу;
- ширина розгорнутого каналу;
- кількість витків шнекового пресу;
- вільний об'єм між пресувальними витками;
- властивості мезги насіння рицини, що подається на пресування;
- температура мезги, що пресується;
- швидкість руху валу гвинтового механізму;
- зазор між зеєрними пластинами;

Аналіз результатів експериментальних даних переслідував наступне завдання: встановлення закономірностей підвищення ефективності процесу пресування мезги насіння рицини в шнекових пресах.

4.1 Оптимізація параметрів процесу пресування мезги насіння рицини

Вибір головних варійованих факторів експерименту супроводжувався завчасно проведеними пошуковими експериментами, результати яких виключили найменш впливові фактори на процес пресування мезги насіння

рицини [165]. Варіювання швидкістю руху валу гвинтового механізму пресу не здійснювалося та було встановлено із забезпеченням найбільшої ефективності процесу пресування мезги насіння рицини на рівні $v_B=20$ об/хв. Висота розгорнутого каналу при незмінній ширині каналу обрана із розрахунку того, щоб кількість мезги, яка отримується після проведеної волого-теплової обробки [78] помістилася до пресу. Властивості мезги насіння рицини, що подається на пресування під час всіх досліджень не змінювалися. Необхідна кількість витків шнекового пресу визначалася з урахуванням збільшення маси олії, що отримувалася на пресувальних витках за напрямком руху мезги.

При визначенні оптимального співвідношення між іншими факторами, такими як вільним об'ємом між пресувальними витками (ступінь стиснення ε , в.о.), температурою мезги, що пресується t , °C та зазору у зерних пластинах δ , мм використана методика математичного планування експерименту [166, 182]. Таке оптимальне співвідношення визначалося окремо для кожного пресувального витка (розділ 3.4.1.1).

В якості критерію ефективності застосовано відносну масу олії μ . При кодуванні факторів використовувалася формула (3.7). Кожний із факторів варіювався на верхньому (+) та нижньому (-) рівнях.

Встановлені рівні варіювання факторів з першого по восьмий пресувальний виток, які представлені у відповідних таблицях 4.1...4.8.

В якості моделі використаний поліном другого порядку [166]:

$$\tilde{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{j,i=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 . \quad (4.1)$$

В результаті прийнятих позначень отримаємо математичну модель у вигляді повного квадратного рівняння:

$$y_i = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_3 + b_3 x_4 + b_{12} x_1 x_3 + b_{13} x_1 x_4 + b_{23} x_3 x_4 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 . \quad (4.2)$$

Таблиця 4.1 – Результати кодування факторів на першому пресуючому витку

Фактор	Кодоване позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
			Натуральні			Кодовані		
			Верхні	Нульові	Нижні	Верхні	Нульові	Нижні
Значення ступеню стиснення, ε	x_1	$\pm 0,15$	1,42	1,27	1,12	1	0	-1
Зазор в зерних планках δ , мм	x_2	$\pm 0,25$	1,5	1,25	1,0	1	0	-1
Температура мезги, t , °С	x_3	± 15	105	90	75	1	0	-1

Таблиця 4.2 – Результати кодування факторів на другому пресуючому витку

Фактор	Кодоване позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
			Натуральні			Кодовані		
			Верхні	Нульові	Нижні	Верхні	Нульові	Нижні
Значення ступеню стиснення, ε	x_1	$\pm 0,15$	1,79	1,64	1,49	1	0	-1
Зазор в зерних планках δ , мм	x_2	$\pm 0,25$	1,5	1,25	1,0	1	0	-1
Температура мезги, t , °С	x_3	± 15	105	90	75	1	0	-1

Таблиця 4.3 – Результати кодування факторів на третьому пресуючому витку

Фактор	Кодоване позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
			Натуральні			Кодовані		
			Верхні	Нульові	Нижні	Верхні	Нульові	Нижні
Значення ступеню стиснення, ε	x_1	$\pm 0,15$	2,09	1,94	1,79	1	0	-1
Зазор в зерних планках δ , мм	x_2	$\pm 0,25$	1,5	1,25	1,0	1	0	-1
Температура мезги, t , °С	x_3	± 15	105	90	75	1	0	-1

Таблиця 4.4 – Результати кодування факторів на четвертому пресуючому витку

Фактор	Кодоване позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
			Натуральні			Кодовані		
			Верхні	Нульові	Нижні	Верхні	Нульові	Нижні
Значення ступеню стиснення, ε	x_1	± 1	4,67	3,67	2,67	1	0	-1
Зазор в зерних планках δ , мм	x_2	$\pm 0,25$	1,5	1,25	1,0	1	0	-1
Температура мезги, t , °С	x_3	± 15	105	90	75	1	0	-1

Таблиця 4.5 – Результати кодування факторів на п'ятому пресуючому витку

Фактор	Кодоване позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
			Натуральні			Кодовані		
			Верхні	Нульові	Нижні	Верхні	Нульові	Нижні
Значення ступеню стиснення, ε	x_1	$\pm 0,5$	5,35	4,85	4,35	1	0	-1
Зазор в зерних планках δ , мм	x_2	$\pm 0,25$	1,5	1,25	1,0	1	0	-1
Температура мезги, t , °С	x_3	± 15	105	90	75	1	0	-1

Таблиця 4.6 – Результати кодування факторів на шостому пресуючому витку

Фактор	Кодоване позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
			Натуральні			Кодовані		
			Верхні	Нульові	Нижні	Верхні	Нульові	Нижні
Значення ступеню стиснення, ε	x_1	$\pm 0,5$	6,21	5,71	5,21	1	0	-1
Зазор в зерних планках δ , мм	x_2	$\pm 0,25$	1,5	1,25	1,0	1	0	-1
Температура мезги, t , °С	x_3	± 15	105	90	75	1	0	-1

Таблиця 4.7 – Результати кодування факторів на сьомому пресуючому витку

Фактор	Кодоване позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
			Натуральні			Кодовані		
			Верхні	Нульові	Нижні	Верхні	Нульові	Нижні
Значення ступеню стиснення, ε	x_1	$\pm 0,5$	7,29	6,79	6,29	1	0	-1
Зазор в зерних планках δ , мм	x_2	$\pm 0,25$	1,5	1,25	1,0	1	0	-1
Температура мезги, t , °С	x_3	± 15	105	90	75	1	0	-1

Таблиця 4.8 – Результати кодування факторів на восьмому пресуючому витку

Фактор	Кодоване позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
			Натуральні			Кодовані		
			Верхні	Нульові	Нижні	Верхні	Нульові	Нижні
Значення ступеню стиснення, ε	x_1	$\pm 1,5$	9,29	8,79	7,29	1	0	-1
Зазор в зерних планках δ , мм	x_2	$\pm 0,25$	1,5	1,25	1,0	1	0	-1
Температура мезги, t , °С	x_3	± 15	105	90	75	1	0	-1

Виконаємо розрахунки для першого пресувального витка

Перевіряємо і аналізуємо три критерії [165]:

- а) Критерій Кохрена (перевірка відтворюваності дослідів);
- б) Критерій Стьюдента (перевірка коефіцієнтів на значимість);
- в) Критерій Фішера (перевірка моделі на адекватність).

Перевірка відтворюваності дослідів переслідує оцінку точності вимірювань за однорідністю дисперсій в матрицях плану.

Визначені дисперсії відтворюваності за критерієм Кохрена $G_p=0,028 < G_T=0,5157$, вказують, що відтворюваність дослідів добра.

За критерієм Стьюдента виділяються значущі коефіцієнти рівняння регресії. Якщо будь-який з визначених коефіцієнтів поліному менше за довірчу границю (табличне значення за критерієм Стьюдента), то вплив відповідного фактору (сумісної дії кількох факторів) вважається несуттєвим і цим фактором (або взаємодією кількох факторів) можна знехтувати, відповідно скоротивши тим самим рівняння регресії на одну або кілька складових [165].

Після розрахунку, модель другого порядку для розрахунку відносної маси олії в залежності від конструктивно-технологічних параметрів на першому пресувальному витку має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,229\varepsilon^2 + 7,035\delta^2 - 0,00001t^2 + 0,002\varepsilon \cdot t - 0,086\varepsilon - 17,755\delta + 0,001t + 23,297 \quad (4.3)$$

Коефіцієнт b_{12} та b_{23} за критерієм Стьюдента незначущі, тому в моделі не присутні.

Аналізом моделі другого порядку (4.3) встановлено, що вплив факторів на критерій ефективності (відносну масу олії) різний.

Проводимо перевірку адекватності рівняння регресії за критерієм Фішера, порівнявши критичне та розрахункове значення критерію Фішера (за формулою А.7).

Встановлено, що рівняння регресії (4.3) адекватна дослідним даним, так як $F_p = 0,013 < F_k = 2,092$.

З метою визначення точки оптимуму, отримане рівняння регресії другого порядку продиференціюємо за кожним фактором та прирівнюємо до нуля.

Отримаємо:

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \varepsilon} = 0,458\varepsilon + 0,002t - 0,086 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \delta} = 14,07\delta - 0,0802t - 17,755 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial t} = 0,002\varepsilon - 0,0802\delta - 0,00002t + 0,001 = 0$$

Розкодований центр оптимуму має наступні значення:

$$\varepsilon = 1,42; \delta = 1,5 \text{ мм}; t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

Максимальне значення функції: - $Y(\mu) = 0,0812$.

Розглянемо можливі двомірні перетини, що мають найбільш практичне значення при фіксації одного з факторів.

1) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , $^\circ\text{C}$.

При $\varepsilon = 1,27$ ($x_1 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 7,035\delta^2 - 0,00001t^2 - 0,0802\delta \cdot t - 17,755\delta + 0,0042 + 23,772. \quad (4.4).$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. 4.1.

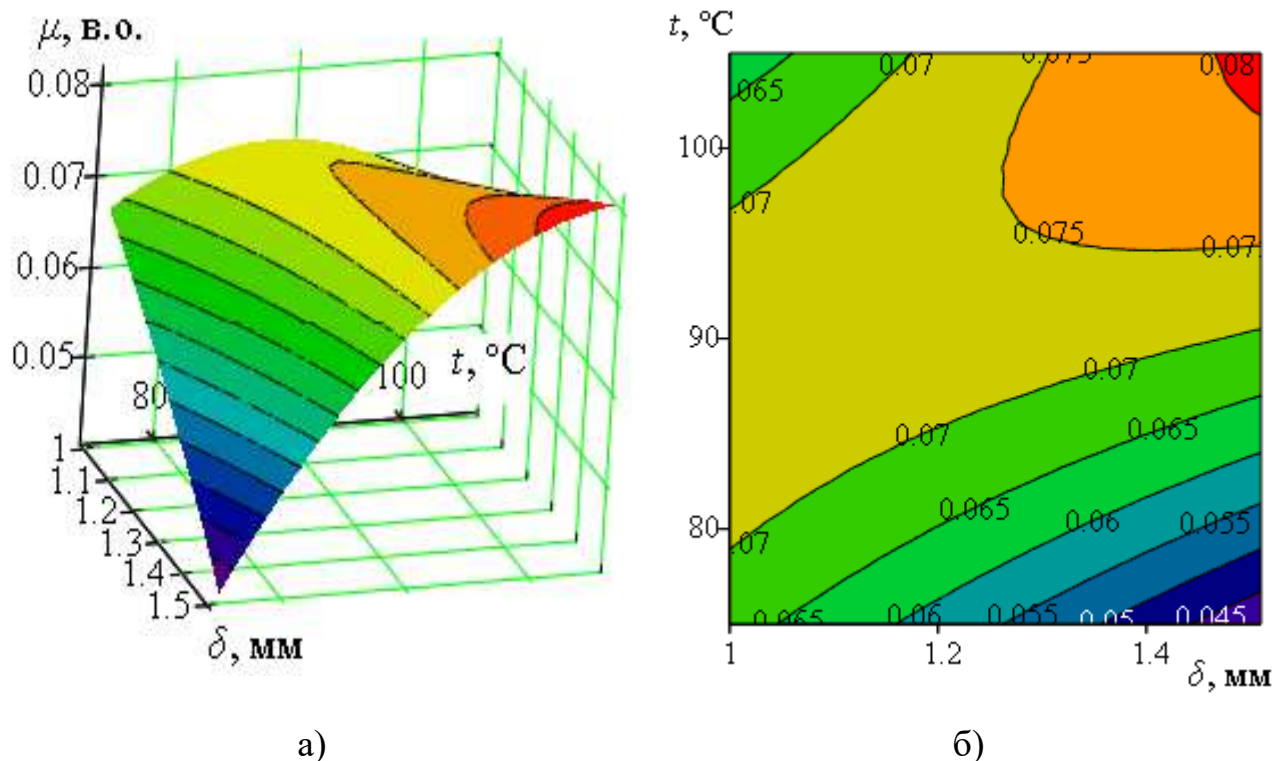


Рисунок 4.1 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , $^\circ\text{C}$

2) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , $^\circ\text{C}$.

При $\delta = 1,25 \text{ мм}$ ($x_2 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,229\varepsilon^2 - 0,00001t^2 + 0,002\varepsilon \cdot t - 0,086\varepsilon - 0,0993t + 12,095 \quad (4.5)$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. 4.2.

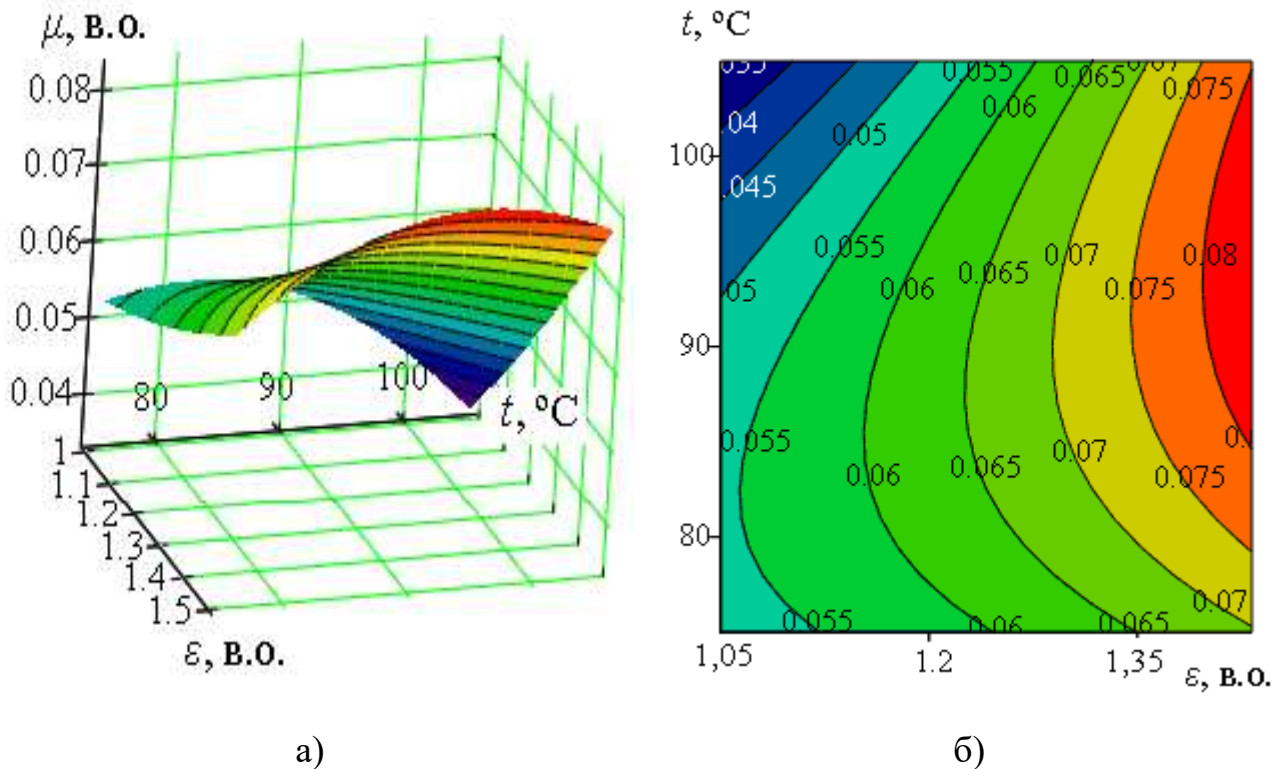


Рисунок 4.2 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , °С.

3) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

При $t = 90 \text{ °С}$ ($x_3 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,229\varepsilon^2 + 7,035\delta^2 - 0,086\varepsilon - 17,755\delta + 23,297. \quad (4.6)$$

Графіки та лінії рівня представлені на рис. 4.3.

На основі вирішених систем рівнянь з приватними похідними, отримані точки оптимуму: значення ступеню стиснення $\varepsilon = 1,42$; зазор в зерних планках $\delta = 1,5 \text{ мм}$; температура мезги $t = 105$.

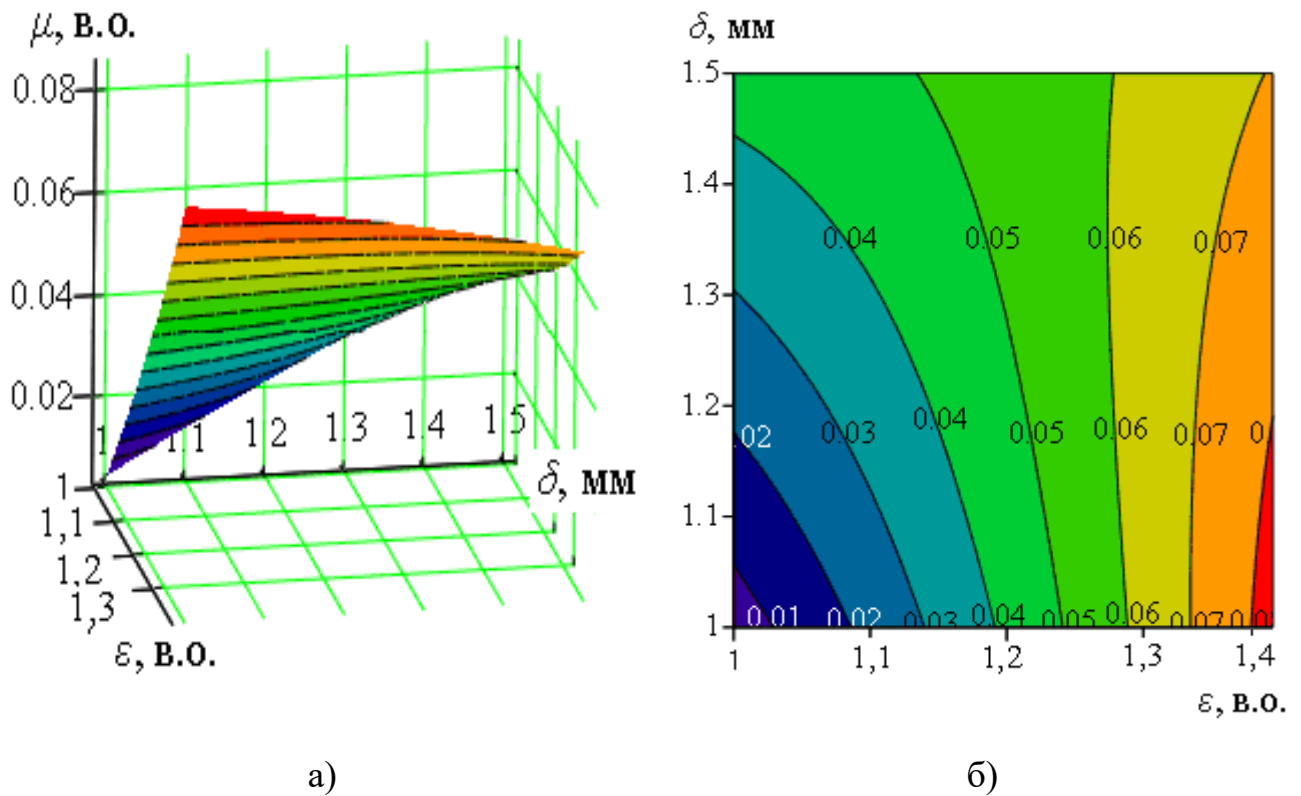


Рисунок 4.3 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

Розрахунки для інших (з другого по восьмий) пресувальних витків представлені у додатку Б.

Після розрахунків отримано точки оптимуму:

- для другого пресувального витка: максимальне значення функції - $Y(\mu) = 0,272$; значення ступеню стиснення $\varepsilon = 1,79$; зазор в зерних планках $\delta = 1,5$ мм; температура мезги $t = 105^\circ\text{C}$;

- для третього пресувального витка: максимальне значення функції - $Y(\mu) = 0,368$; значення ступеню стиснення $\varepsilon = 2,09$; зазор в зерних планках $\delta = 1,5$ мм; температура мезги $t = 105^\circ\text{C}$;

- для четвертого пресувального витка: максимальне значення функції - $Y(\mu) = 0,409$; значення ступеню стиснення $\varepsilon = 4,67$; зазор в зерних планках $\delta = 1,5$ мм; температура мезги $t = 105^\circ\text{C}$;

- для п'ятого пресувального витка: максимальне значення функції - $Y(\mu) = 0,454$; значення ступеню стиснення $\varepsilon = 5,35$; зазор в зерних планках $\delta = 1,0$ мм; температура мезги $t = 105$ °С;

- для шостого пресувального витка: максимальне значення функції - $Y(\mu) = 0,47$; значення ступеню стиснення $\varepsilon = 6,21$; зазор в зерних планках $\delta = 1,0$ мм; температура мезги $t = 105$ °С;

- для сьомого пресувального витка: максимальне значення функції - $Y(\mu) = 0,489$; значення ступеню стиснення $\varepsilon = 7,29$; зазор в зерних планках $\delta = 1,0$ мм; температура мезги $t = 105$ °С;

- для восьмого пресувального витка: максимальне значення функції - $Y(\mu) = 0,496$; значення ступеню стиснення $\varepsilon = 9,29$; зазор в зерних планках $\delta = 1,0$ мм; температура мезги $t = 105$ °С.

Оптимальні значення функції (відносної маси олії μ , в.о.), що визначено на кожному пресувальному витку з урахуванням ступеню стиснення ε , в.о., зазору у зерних пластинах δ , мм та температури мезги t , °С дають загальну залежність відносної маси олії μ , в.о. від номера пресувального витка n , виток (рис. 4.4).

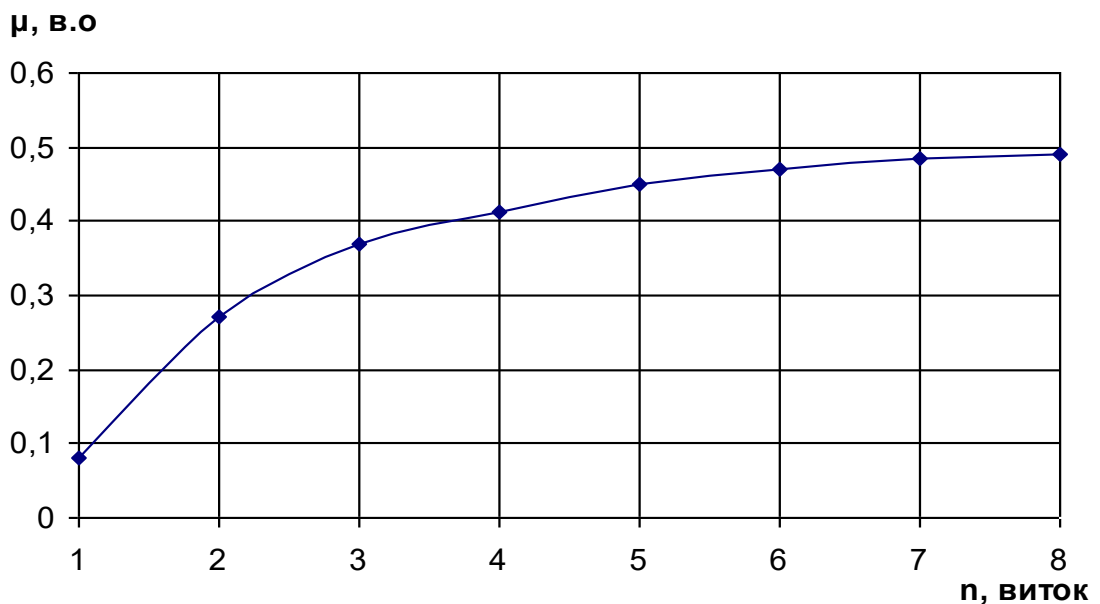


Рисунок 4.4 – Залежність відносної маси олії від ступеня стиснення

Як бачимо, на останніх витках, відносна маса олії практично не змінюється. Найбільша зміна відбувається на перших трьох витках з $\mu=0$ до $\mu=0,368$.

4.2 Оцінка фільтраційних властивостей рицинової олії при пресуванні її мезги у шнекових пресах

Проведені дослідження (розділ 3.4.4) дозволили вивчити фільтраційні характеристики твердої фази мезги насіння рицини та встановити режими фільтрування олії через зерні пластини на кожному витку шнекового пресу

На рис. 4.5 представлено залежність зміни тиску що створюється в експериментальному каналі в залежності від встановленого ступеню стиснення.

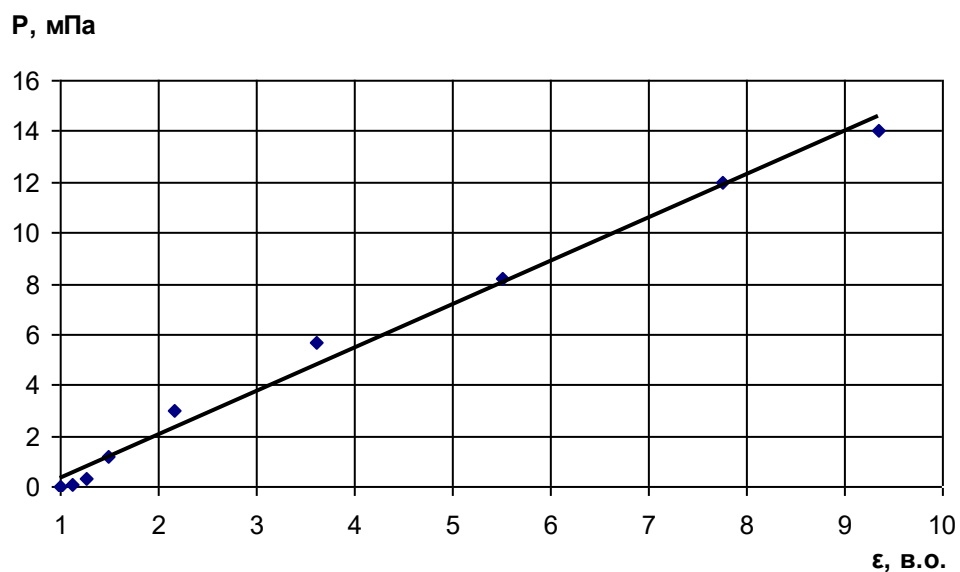


Рисунок 4.5 – Залежність зміни тиску мезги від ступеня стиснення

В результаті проведення експериментальних досліджень встановлено, що при збільшенні ступеню стиснення в межах від $\varepsilon=1$ до $\varepsilon=9,35$ тиск збільшується від 0 до 14 мПа. Причому, в цих межах, зміна тиску має практично лінійний характер. Експериментальні значення тисків при відповідному ступеню стиснення відповідає теоретичним даним (розділ 2.4) з похибкою не більше 10 %.

На рис. 4.6...4.13 представлені графічні залежності показників, що характеризують фільтраційні властивості мезги насіння ріцини.

Так, аналізом залежності (рис. 4.6) встановлено, що макуха, який отримується при пресуванні мезги насіння ріцини є таким, що стискається. При збільшенні тиску пресування над мезгою, пористість кінцевої макухи знижується. При чому, при тисках від 0 до 5,6 мПа відбувається різке зниження пористості, що пояснюється тим, що при деформації мезги в початковий період спочатку витискається повітряні проміжки, що присутні всередині мезги, а потім – безпосередньо олія. При тисках від 5,6 до 13,5 мПа зниження пористості макухи уповільнюється за рахунок тільки олії, що залишилася у внутрішніх поверхнях частинок мезги. Надані пояснення підтверджують процес виділення олії за [2]. При побудові залежності були прийняті деякі припущення: в якості об'єму твердого осаду V_{me} , прийнятий об'єм макухи на останньому (восьмому) пресувальному витку. Необхідно зауважити, що така макуха не є повним твердим осадом, так як в ньому залишається близько 6%.

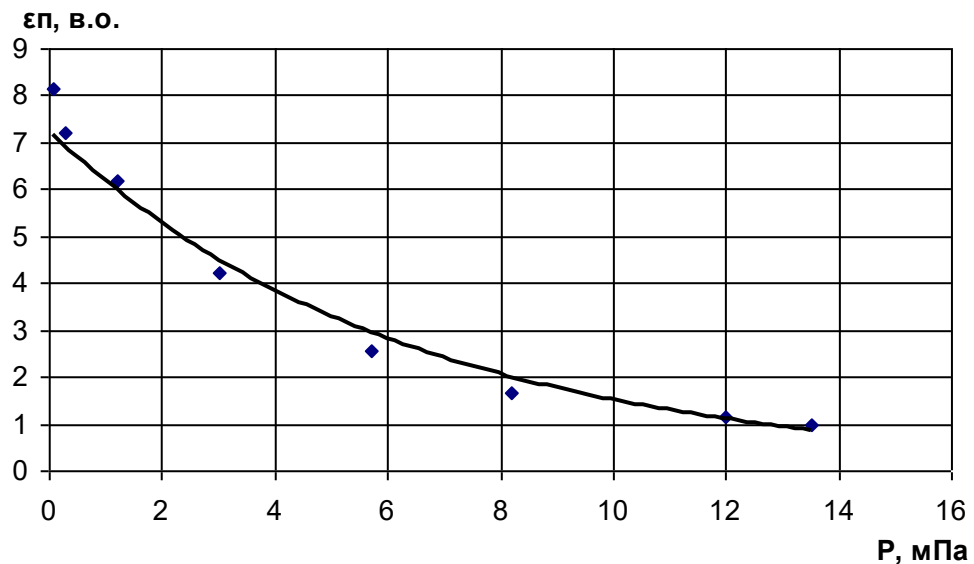


Рисунок 4.6 – Залежність коефіцієнта пористості від тиску мезги

Аналізом залежності (рис. 4.7) встановлено, що об'ємна витрата олії, яка фільтрується через шар мезги насіння ріцини при тисках в діапазоні від 0

до 14 мПа збільшується по мірі збільшення тиску та приближується к деякому значенню Q , близькому до величини $Q=4,8 \cdot 10^{-5}$ м³/с. Тобто, збільшення фільтрування олії через шар мезги при тисках від 0 до 3 мПа відбувається стрибкоподібно. Тоді як при тиску від 3 до 13,5 мПа, фільтрування олії уповільнюється. Також можна стверджувати, що підвищення тиску більше 13,5 мПа практично не призведе до збільшення об'ємної витрати олії через шар мезги.

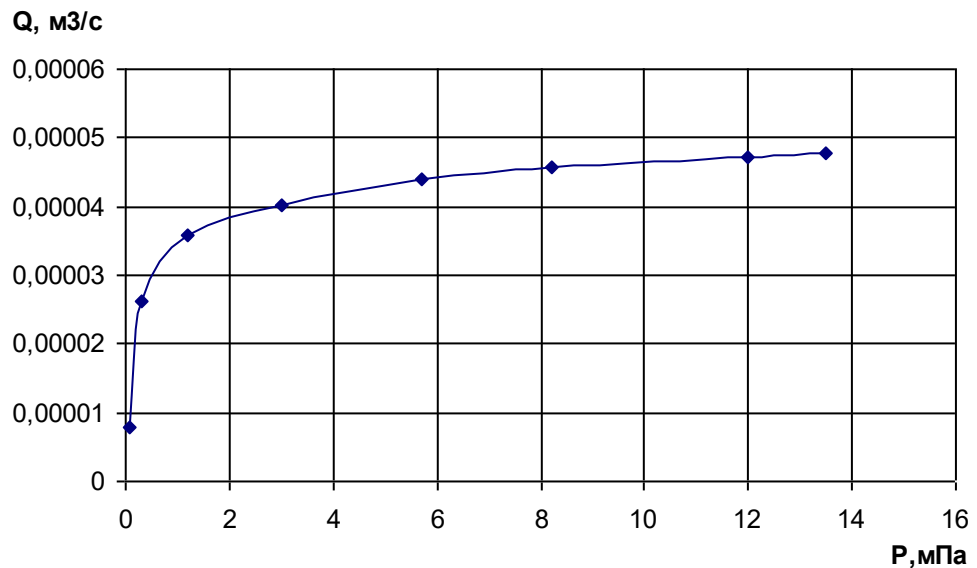


Рисунок 4.7 – Залежність об'ємної витрати олії від тиску мезги.

Для того, щоб не прив'язуватися до конкретної продуктивності пресу, таку залежність можна представити, якщо об'єм віджатої олії перевести у відносні одиниці. Для цього застосуємо формулу:

Відповідно,

$$\Delta V_{ол} = \frac{V_{ол}}{V_{ол.мах}}, \quad (4.7)$$

де $\Delta V_{ол}$ - відносний об'єм олії, в.о.;

$V_{ол}$ - об'єм олії, що отримано на кожному ступені стиснення при фіксованому значенні мезги, що завантажується для пресування м³;

$V_{ол.маx}$ - об'єм максимальної кількості олії, що може бути отримано при фіксованому значенні мезги, що завантажується для пресування $м^3$.

Тоді, з урахуванням [14] та якщо прийняти припущення, що в насіння рицини присутнє фіксоване значення, а саме 55 % олії, то при масі мезги, що завантажується до експериментального пристрою $m_{мез} = 280$ гр., максимальна маса олії яку можна бути отримати складає $m_{ол} = 154$ гр. Відповідно, якщо щільність рицинової олії складає $\rho_{ол} = 960$ кг/м³ [46], то згідно формули (3.12) отримаємо об'єм максимальної кількості олії при фіксованому значенні мезги, що завантажується для пресування $V_{ол.маx} = 1,6 \cdot 10^{-4}$ м³.

Тоді відносну об'ємну витрату олії визначимо за формулою

$$\Delta Q_{ол} = \frac{\Delta V_{ол}}{\tau_{\phi}}, \quad (4.8)$$

де τ_{ϕ} - час витримки на кожному ступеню стиснення, с.

В роботі прийняте припущення, що швидкість обертання шнекового валу складає 20 об/хв. і не змінюється під час усіх досліджень. Так як при дослідженнях застосовується розгорнутий канал, який моделює окремо витки шнекового валу, то у відповідності з [40], час витримки на кожній ступені стиснення складає для швидкості обертання шнекового валу 20 об/хв., складає $\tau_{\phi} = 3$ с.

На рис. 4.8 показана залежність відносної об'ємної витрати олії від тиску, що створюється при пресуванні мезги, характер якої повторює залежність, що показана на рис. 4.7.

Після проведення обробки в пакеті Excel, рівняння регресії залежності, що представлено на рис. 4.8 буде мати вигляд в межах тиску від 0,06 мПа до 13,5 мПа:

$$\Delta Q = 0,0434 \ln(P) + 0,1959. \quad (4.9)$$

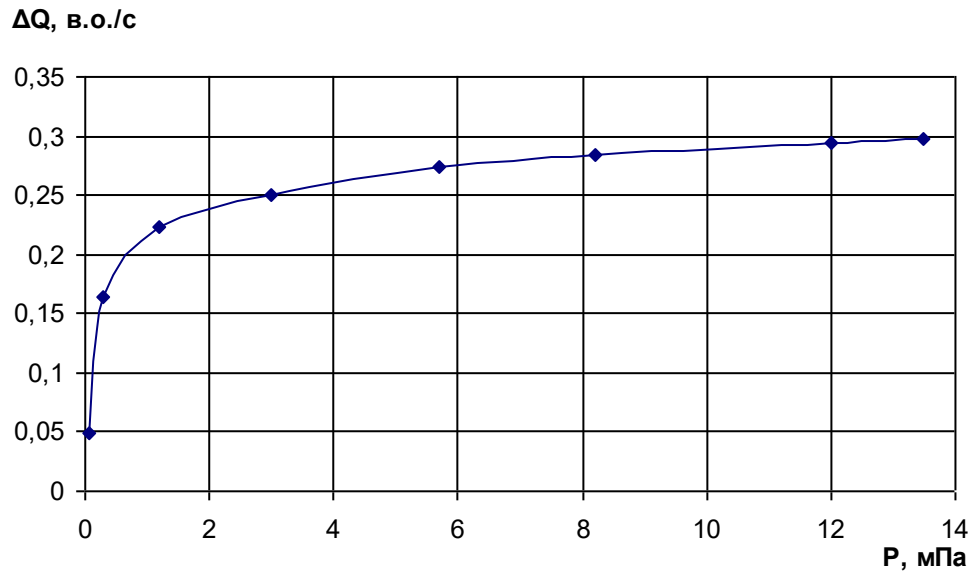


Рисунок 4.8 – Залежність відносної об'ємної витрати олії від тиску мезги

Враховуючи формули (4.7 та 4.8) отримаємо об'ємну витрату олії в залежності від тиску при різній продуктивності шнекових машин:

$$Q = (0,0434 \ln(P) + 0,1959) \cdot V_{ол.мак}. \quad (4.10)$$

Також встановлено (рис. 4.9) зміни відносного об'єму олії після віджимання до відносного об'єму мезги, що пресується при тисках від 0 до 13,5 мПа. При встановленні такої залежності, відносний об'єм мезги визначали за формулою

$$\Delta V_{мез} = \frac{V_{мез.i}}{V_{мез.поч}}, \quad (4.11)$$

де $V_{мез.i}$ - об'єм мезги, що відповідає відповідному тиску мезги при її стисненні, м³;

$V_{мез.поч}$ - першопочатковий об'єм мезги, що завантажувався до експериментального каналу, м³.

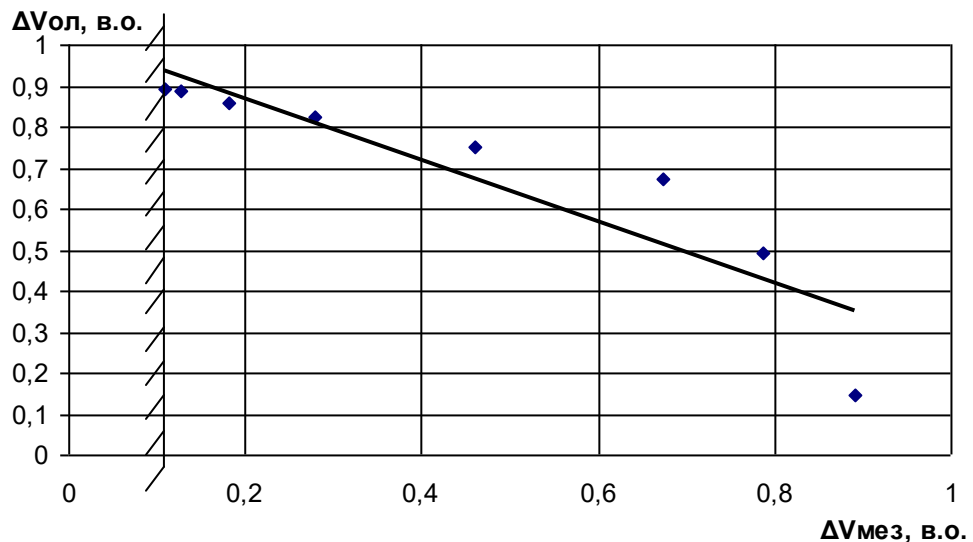


Рисунок 4.9 – Залежність відносного об’єму олії після віджимання від відносного об’єму мезги, що пресується при тисках від 0 до 13,5 мПа

Зміна об’ємів мезги насіння рицини і рицинової олії має прямолінійну закономірність. Це обумовлюється тим, що згідно методики [162] розрахований коефіцієнт кореляції, що складає $r=0,909$. При $r > 0,7$ – лінійна кореляційна залежність вважається сильною [162]. Рівняння регресії (рис. 4.9) в межах $0,109 \leq \Delta V_{ол} \leq 1$ має вигляд:

$$\Delta V_{ол} = -0,752 \cdot \Delta V_{мез} + 1,02. \quad (4.12)$$

Рівняння регресії (4.12) дає можливість при заданому об’ємі мезги визначити об’єм олії, що буде отримано після пресування. Такі об’єми впливають безпосередньо на продуктивність шнекових пресів

Встановлено залежність швидкості фільтрації олії від тиску мезги, що створюється при пресуванні (рис. 4.10). Відповідно, швидкість виходу олії збільшується із збільшенням тиску і досягає найбільшого значення при тиску близькому до $P=0,4$ мПа. Далі, зі збільшенням тиску, відбувається поступове зниження швидкості фільтрації. При тиску більше $P=3$ мПа, швидкість фільтрування прагне до деяких постійних значень у зв’язку зі зміною фільтраційних характеристик мезги в незалежності від збільшення тиску під

час пресування. У відповідності з [181], це відбувається внаслідок того, що тиск вже практично не впливає на вихід олії, так як опір мезги при цьому пропорційно збільшується. Таким чином, можна стверджувати, що найбільша кількість олії із мезги насіння рицини отримується при тисках від 0 до 3 мПа.

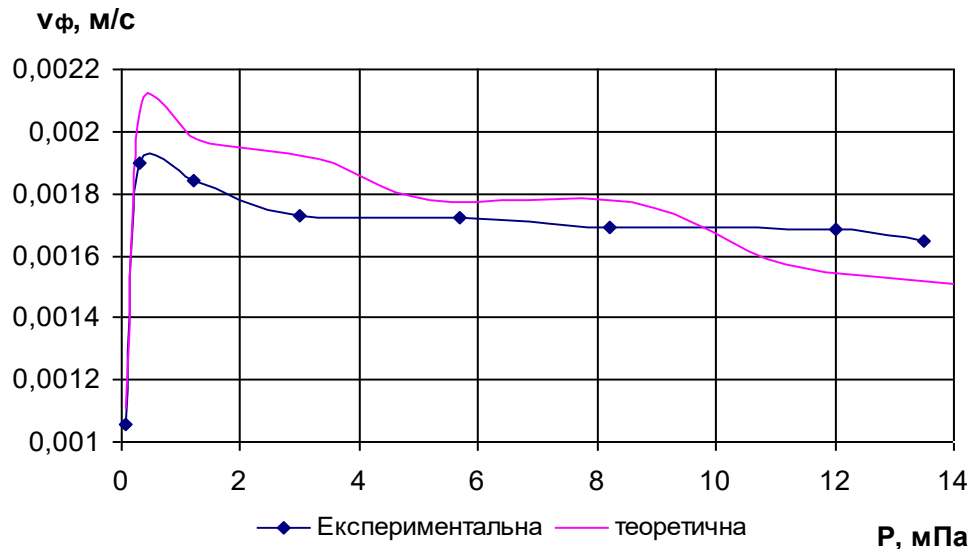


Рисунок 4.10 – Залежність швидкості фільтрації олії від тиску мезги.

Окрім цього, встановлено, що розбіжність між експериментальними та теоретичними даними швидкості фільтрації олії від тиску мезги, що створюється при пресуванні не перевищує 10 відсотків (рис. 4.10). Це дає змогу вважати, що розроблені моделі є адекватними.

На рис. 4.11 та 4.12 приведені залежності коефіцієнта фільтрації олії та коефіцієнта проникненості від тиску мезги.

Аналізом залежностей (рис. 4.11) коефіцієнта фільтрації від тиску, що створюється при пресуванні мезги насіння рицини, встановлено, що різке зниження коефіцієнта фільтрації відбувається при тисках від 0 до 3 мПа. При тисках більше 3 мПа, коефіцієнт фільтрації практично відсутній (знаходиться біля позначки «0»). Пов'язано це з тим, що збільшення тиску призводить до ущільнення мезги насіння рицини, зменшенню її пор, наслідком чого є загальне зниження коефіцієнта фільтрації.

Що ж стосується залежності проникненості від тиску мезги (рис. 4.12), то її аналізом встановлено, що збільшенням температури рицинової олії, коефіцієнт проникненості зменшується при встановленому тиску. Це пов'язано зі зменшенням в'язкості рицинової олії. Тобто при зменшенні в'язкості рицинової олії, здатність пористого тіла (мезги насіння рицини) транспортувати (просочувати) рицинову олію із заданими властивостями відбувається при меншому тиску у порівнянні з підвищеною в'язкістю рицинової олії.

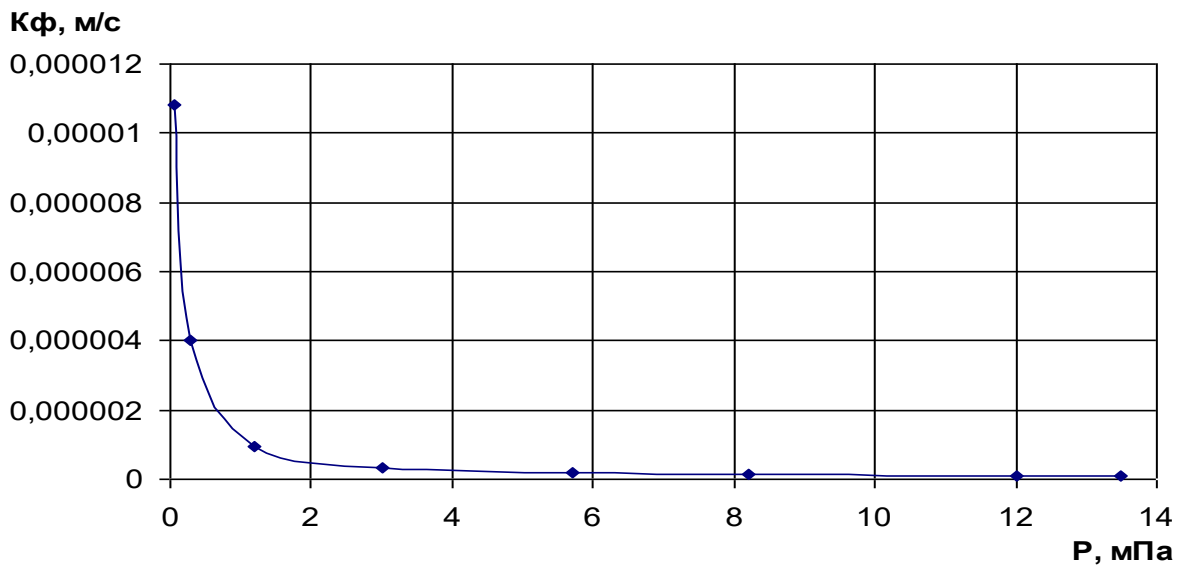


Рисунок 4.11 – Залежність коефіцієнта фільтрації олії від тиску мезги

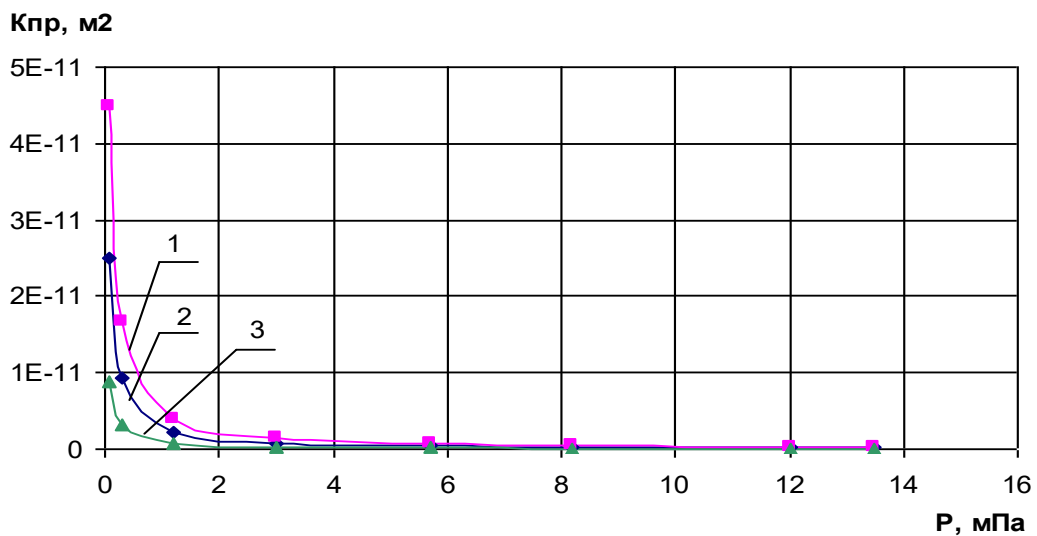


Рисунок 4.12 – Залежність коефіцієнта проникненості від тиску мезги при температурах: 1- 75°C; 2- 90°C; 3- 105°C

Залежність коефіцієнта фільтрації (рис. 4.13) від тиску та пористості з високим ступенем точності апроксимується виразом

$$K_{\phi} = 1,15826 \cdot 10^{-8} \cdot e^{9,181810^{-8} \cdot P} \cdot e^{0,79211 \varepsilon_n} \quad (4.13)$$

Аналіз залежності (рис.4.13) показав, що змінення коефіцієнту пористості мезги насіння ріцини грає важливу роль в процесі віджимання, і при низьких значеннях пористості матеріалу в незалежності від тиску призводять до погіршення фільтраційних властивостей матеріалу (коефіцієнт фільтрації знижується). При високих значеннях коефіцієнту пористості вплив на фільтраційні властивості визначається тиском, що створюється на мезгу, коефіцієнт фільтрації якої буде більше (а відповідно збільшується і вихід олії) із тиском, що створюється на мезгу.

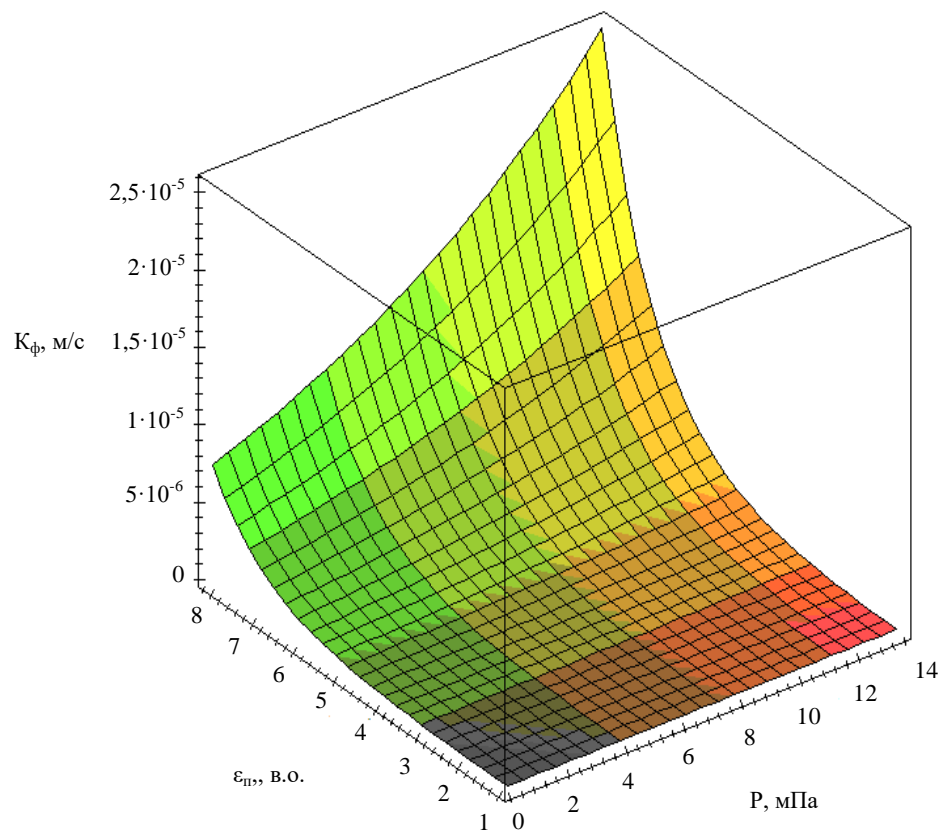


Рисунок 4.13 – Залежність коефіцієнта фільтрації K_{ϕ} від тиску P та коефіцієнта пористості ε_n

4.3 Визначення відносної концентрації відфільтрованої олії

З урахуванням оптимізації, що проведена у розділі 4.1, де визначено максимальну відносну масу олії, що отримано на n -ному пресувальному витку, зроблені розрахунки експериментальних значень відносної концентрації відфільтрованої олії за формулою

$$\frac{C_{\phi}}{C_0} = \frac{\mu_n}{\mu_{\max}}, \quad (4.14)$$

де $\frac{C_{\phi}}{C_0}$ - відносна концентрація відфільтрованої олії, в.о.;

μ_n - відносна маса олії на n -ному пресувальному витку, в.о.

μ_{\max} - максимальна відносна маса олії, в.о.

В якості максимальної відносної маси з урахуванням даних [14] прийнято, що $\mu_{\max} = 0,55$, тобто в насіння рицини є 55 % рицинової олії. Отримано залежності відносної концентрації відфільтрованої олії від тиску мезги, що створюється під час пресування (рис. 4.14).

В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що відносна концентрація відфільтрованої олії підвищується із збільшенням тиску під час пресування. У відповідності з [162], залежність $\frac{C_{\phi}}{C_0} = f(P)$ має

дві зони. Найбільша зміна концентрації відфільтрованої олії $\frac{C_{\phi}}{C_0} = 0 \dots 0,71$

відбувається в діапазоні зміни тиску мезги $P = 0 \dots 1,85$ мПа. Максимальне

значення $\frac{C_{\phi}}{C_0} = 0,89$ досягається при тиску $P = 13,5$ мПа. Результати

експериментального визначення динаміки відносної концентрації відфільтрованої олії під час пресування співпадають з результатами

теоретичних досліджень (розбіжність складає до 10%). Це дає стверджувати, що розроблені моделі адекватними.

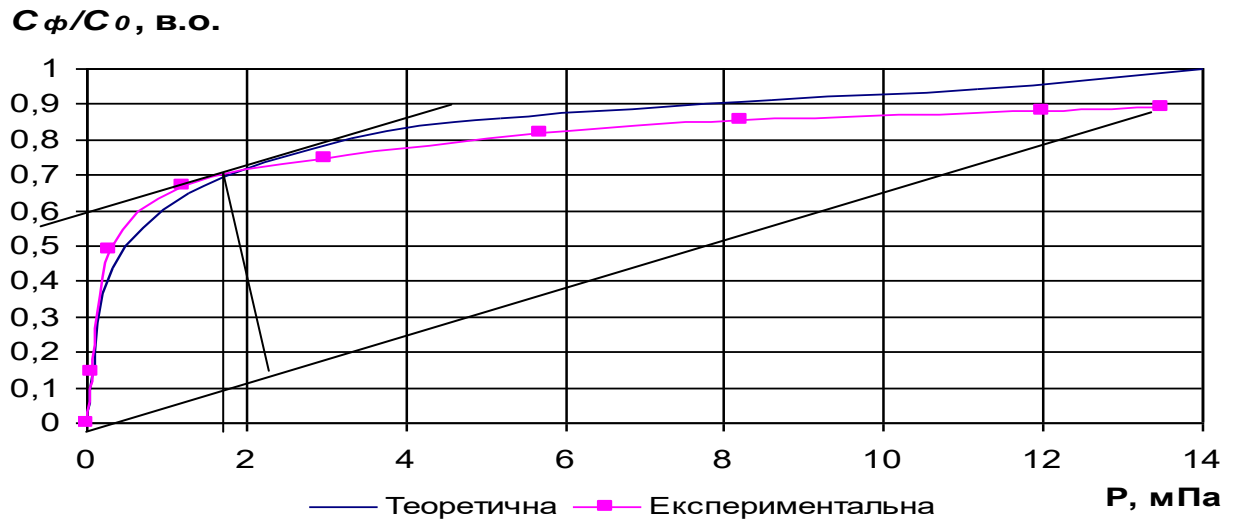


Рисунок 4.14 – Залежність відносної концентрації відфільтрованої олії $\frac{C_{\phi}}{C_0}$

від тиску мезги P , що створюється під час пресування

4.4 Визначення закону стиснення мезги насіння ріцини

Визначення закону стиснення виконувалось з урахуванням методик розділів 3.4.4 та 3.4.6. Відповідно до цих методик отримано загальну залежність номеру витку шнекового пресу від оптимізованого ступеню стиснення, який повинен бути на даному витку, що пресує (рис. 4.15).

Відповідно, застосувавши обробку залежності (рис.4.15) в EXCEL, змінення ступеня стиснення в залежності від номера витка можна підпорядкувати деякій закономірності (закон стиснення) [183]:

$$\varepsilon = 1,109e^{0,281 \cdot n}, \quad (4.15)$$

де n - номер пресувального витка.

Якщо врахувати те, що ступінь стиснення окремо на кожному витку шнекового пресу це відношення об'єму мезги у першому витку до об'єму

мезги у кожному наступному витку відповідно, вільні об'єми між пресувальними витками за формулою:

$$V_n = \frac{V_1}{1,109e^{0,281 \cdot n}}, \quad (4.16)$$

де V_1 - об'єм мезги, що завантажується у перший пресувальний виток шнекового пресу, м³;

V_n - об'єм мезги, що може знаходитися у n -ному пресувальному витку шнекового пресу, м³.

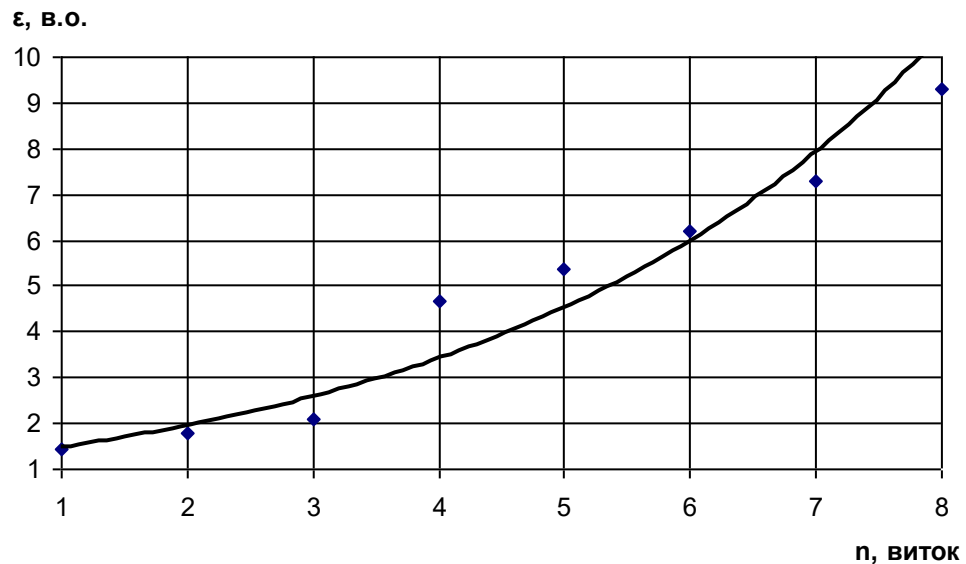
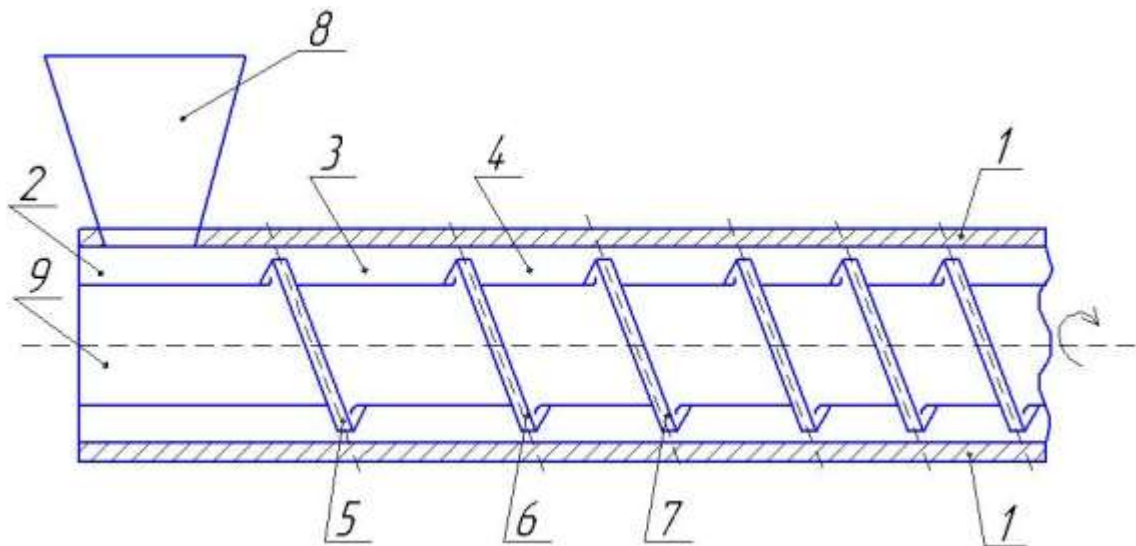


Рисунок 4.15 – Залежність ступеня стиснення від номера пресувального витка

Вільний об'єм (поз.2 рис. 4.16) мезги першого пресувального витка (поз. 5, рис. 4.16) визначає подальшу продуктивність шнекового пресу, необхідної для задоволення потреб виробника продукції. Знаючи такий об'єм (поз. 5, рис. 4.16) і номер пресувального витка, можна визначити всі інші вільні об'єми (поз. 3, 4, і т.д. рис. 4.16) між іншими пресувальними витками (поз. 6, 7, і т.д. рис. 4.16) і далі, не змінюючи встановлені вільні об'єми між пресувальними витками, розрахувати всі інші конструктивні параметри такого шнекового пресу з урахуванням відповідної продуктивності.



1 – зерний циліндр; 2 – вільний об’єм першого пресувального витка ;
 3, 4 - вільні об’єми наступних пресувальних витків; 5 – перший пресувальний
 виток; 6, 7 – наступні пресувальні витки; 8 – завантажувальний бункер; 9 –
 шнековий вал

Рисунок 4.16 – Конструктивне виконання шнекового пресу на прикладі пресу зі змінними кроком гвинта:

Наприклад, виробник бажає отримати продуктивність шнекового пресу за рициною 15 тон на добу. При 8 – часовому робочому дні, така продуктивність буде складати 1880 кг/год. При середньому часі перебування мезги у шнекових пресах близько 1,5 хвилини (0,025 години), вільний об’єм першого пресувального витка повинен бути таким, щоб помістити 47 кг мезги насіння рицини. Після встановлення конструктивних параметрів вільного об’єму першого пресувального витка, всі інші – розраховуються за рівнянням (4.16)

При встановленому законі стиснення (рівняння 4.15), вихід олії окремо на кожному витку шнекового пресу відображений у залежності відносної маси олії від номеру витка (рис. 4.17). Як бачимо найбільший вихід олії відбувається на другому витку. На восьмому пресувальному витку вихід олії практично знижується до нуля. Тобто збільшення кількості витків більше вісьмох призведе тільки до зростання тиску в шнековому пресі та збільшення витрат потужності на пресування. Таким чином при пресуванні мезги насіння

рицини достатня кількість пресувальних витків повинна складати вісім витків.

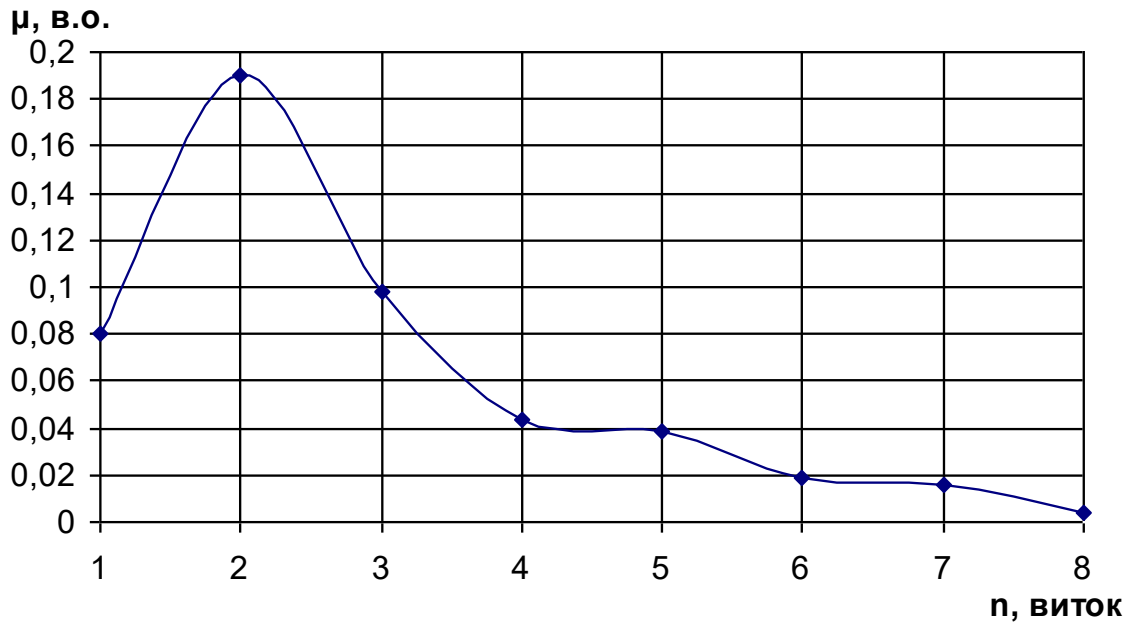


Рисунок 4.17 – Залежність відносної маси олії від номера витка

Якщо використати залежність ступеня стиснення від номера пресувального витка (рис. 4.15), отримаємо залежність відносної маси олії, що отримується на кожному ступені стиснення шнекових пресів (рис. 4.18). Як бачимо, конструктивне виконання витків, що пресують таким чином, щоб забезпечити ступінь стиснення вище позначки $\varepsilon = 9,4$ здійснювати непотрібно, так як вихід олії практично зупиняється.

З урахуванням (рис. 4.17 та рис. 4.18), загальна відносна маса олії що отримано після пресування на вісьмох витках шнекового пресу складає $\mu = 0,496$. Максимальна ж олійність насіння рицини складає 55% [14] або можна записати як $\mu_{\max} = 0,55$. Відповідно, кількість олії після пресування, що залишилася у матеріалі буде визначено як:

$$\Delta\mu = \mu_{\max} - \mu = 0,55 - 0,496 = 0,054 .$$

Якщо це значення помножити на 100 %, то отримаємо остаточну олійність макухи, яка складає 5,4%. У відповідності з [16] після першого пресування, остаточна олійність макухи рицини повинна складати 8,5%.

Тобто, завдяки оптимізації конструктивно-технологічних параметрів шнекових пресів, показник олійності макухи рицини вдалося зменшити ще на $8,5 - 5,4 = 3,1\%$.

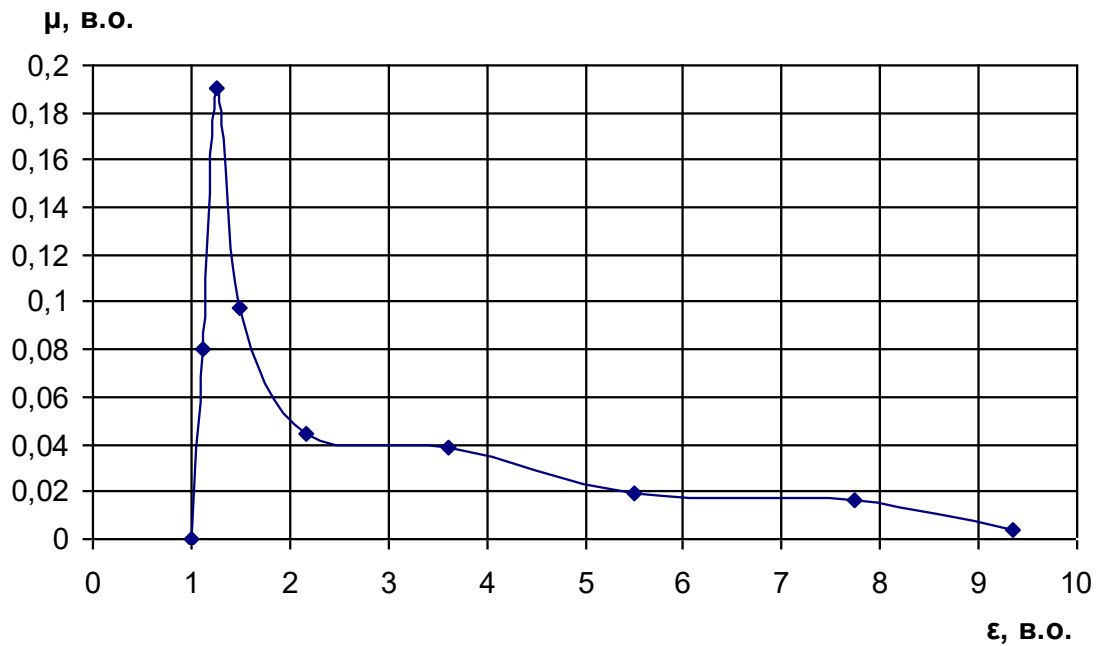


Рисунок 4.18 – Залежність відносної маси олії від ступеня стиснення

Також потрібно зазначити, що на ефективність пресування, як було сказано у розділі 1.4, впливає і ряд додаткових конструктивних параметрів, які забезпечують необхідний вільний об'єм між пресувальними витками: крок гвинта; діаметр робочої камери, висота пресувальних витків та їх поєднання. При встановленому законі стиснення для мезги насіння рицини (формула 4.15), визначення оптимальних додаткових конструктивних параметрів є предметом подальших досліджень.

4.5 Висновки по розділу 4

В результаті проведення експериментальних досліджень:

1. При визначенні ефективності процесу пресування мезги насіння рицини встановлено оптимальні значення конструктивно-технологічних параметрів шнекових пресів:

- на першому пресувальному витку: ступінь стиснення $\varepsilon = 1,42$; зазор у зеєрних пластинах $\delta = 1,5$ мм; температура мезги $t = 105$.
- на другому пресувальному витку: ступінь стиснення $\varepsilon = 1,79$; зазор у зеєрних пластинах $\delta = 1,5$ мм; температура мезги $t = 105$.
- на третьому пресувальному витку: ступінь стиснення $\varepsilon = 2,09$; зазор у зеєрних пластинах $\delta = 1,5$ мм; температура мезги $t = 105$.
- на четвертому пресувальному витку: ступінь стиснення $\varepsilon = 4,67$; зазор у зеєрних пластинах $\delta = 1,5$ мм; температура мезги $t = 105$.
- на п'ятому пресувальному витку: ступінь стиснення $\varepsilon = 5,35$; зазор у зеєрних пластинах $\delta = 1,0$ мм; температура мезги $t = 105$.
- на шостому пресувальному витку: ступінь стиснення $\varepsilon = 6,21$; зазор у зеєрних пластинах $\delta = 1,0$ мм; температура мезги $t = 105$.
- на сьомому пресувальному витку: ступінь стиснення $\varepsilon = 7,29$; зазор у зеєрних пластинах $\delta = 1,0$ мм; температура мезги $t = 105$.
- на восьмому пресувальному витку: ступінь стиснення $\varepsilon = 9,29$; зазор у зеєрних пластинах $\delta = 1,0$ мм; температура мезги $t = 105$.

2. Ефективність процесу пресування на відповідних пресувальних витках шнекового пресу наступна: на першому пресувальному витку після пресування відносна маса олії складає $\mu = 0,0812$; на другому – $\mu = 0,272$; на третьому – $\mu = 0,368$; на четвертому – $\mu = 0,409$; на п'ятому – $\mu = 0,454$; на шостому – $\mu = 0,47$; на сьомому – $\mu = 0,489$; на восьмому – $\mu = 0,496$.

3. Встановлено значення тиску мезги, що створюється при пресуванні на відповідному пресувальному витку та складає: при ступені стиснення $\varepsilon = 1,42$, тиск мезги – $P = 0,06$ мПа; при $\varepsilon = 1,79$, $P = 0,29$ мПа; при $\varepsilon = 2,09$ $P = 1,2$ мПа; при $\varepsilon = 4,67$, $P = 3$ мПа; при $\varepsilon = 5,35$, $P = 5,7$ мПа; при $\varepsilon = 6,21$, $P = 8,2$ мПа; при $\varepsilon = 7,29$, $P = 12$ мПа; при $\varepsilon = 9,29$, $P = 13,5$ мПа. Встановлені значення тисків відповідають теоретичним розрахункам тиску мезги. Похибка не перевищує 10%.

5. Проведені дослідження дозволили вивчити фільтраційні характеристики твердої фази мезги насіння рицини та встановити режими фільтрування олії через зеєрні пластини на кожному витку шнекового пресу. Найбільші зміни фільтраційних характеристик мезги насіння рицини відбуваються в 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, так як це не призведе до значного зростання виходу олії. Окрім цього, встановлено, що розбіжність між експериментальними та теоретичними даними швидкості фільтрації олії від тиску мезги, що створюється при пресуванні, не перевищує 10 відсотків.

4. В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що відносна концентрація відфільтрованої олії досягає максимального значення на восьмому пресувальному витку та складає $\frac{C_{\phi}}{C_0} = 0,89$. Результати динаміки відносної концентрації відфільтрованої олії під час пресування на відповідному пресувальному витку співпадають з результатами теоретичних досліджень з розбіжністю не більше 10%. Це дає стверджувати, що розроблені моделі адекватними.

5. 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.

7. 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 $\mu = 0,496$.

8. За рахунок оптимізації конструктивно-технологічних параметрів шнекових пресів, показник олійності макухи рицини після першого пресування вдалося знизити на 3,1% (з 8,5 % до 5,4%).

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

5.1 Результати досліджень розробленого пресу для пресування мезги насіння рицини

Результати дисертаційної роботи (теоретичні та експериментальні) увійшли до звіту про виконання держбюджетної програми 0116U004694 «Наукові основи глибокої переробки насіння рицини на олію та високобілкові корми» за 2016-2020рр. Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Мотрного та передані до ТОВ «СПП ЛАНА» у вигляді наукового звіту.

В результаті випробувань пресу для пресування мезги насіння рицини встановлено, що ефективність пресування рицинової олії із мезги насіння рицини за рахунок використання шнекового пресу із конструктивно-технологічними параметрами, що запропоновані у данній дисертаційній роботі, збільшується на 5-10%. Це дає можливість додатково отримати 5-10 кг рицинової олії на кожні 100 кг олії.

Висновок ТОВ «СПП ЛАНА»: розроблений шнековий прес для пресування мезги насіння рицини дозволяє ефективно здійснювати віджимання рицинової олії із мезги насіння рицини, а також є доцільним використання у технологічному процесі переробки насіння рицини на рицинову олію.

5.2 Розрахунок техніко-економічної ефективності використання пресу для пресування мезги насіння рицини

Техніко-економічна ефективність застосування пресу для пресування мезги насіння рицини виконана з врахуванням методик економічного

обґрунтування інженерних рішень у сфері агропромислового комплексу [184, 185].

Визначення економічної ефективності пресу для пресування мезги насіння рицини виконували з врахуванням результатів випробувань дослідного зразка розгорнутого горизонтального каналу експериментального пресу.

Економічний ефект від застосування розробленого пресу на додатковій отриманій олії можна визначити за такою залежністю [184, 185]:

$$E = C_{np} - (J_{np} - J_{баз}) \cdot W_{np} - C_{баз}, \quad (5.1)$$

де $C_{np}, C_{баз}$ - грошовий виторг від реалізації рицинової олії, відповідно, на пресах по проектному і по базовому варіантові, грн.;

B - приведені витрати на доочищення зерна пневматичним сепаратором, грн/т;

W_{np} - об'єм насіння рицини, що перероблювався за рік, $W_{np} = 237,6$ т.

$J_{np}, J_{баз}$ - експлуатаційні витрати за проектним та базовим варіантами, грн/т.

Грошовий виторг від реалізації рицинової олії для проектному варіанту визначається за формулою [184, 185]:

$$C_{np} = \frac{Q \cdot \alpha_{np} \cdot \Gamma_z \cdot C_{ол.}}{100} - Q \cdot \Gamma_z \cdot C_{нас}, \quad (5.2)$$

де Q - продуктивність пресу по насінню рицини, т/год, $Q = 0,22$ т/год;

Γ_z - річне навантаження, год, $\Gamma_z = 1080$ год;

$C_{ол.}$ - вартість 1 тони рицинової олії, $C_{ол.} = 58000$ грн/т;

$C_{нас.}$ - вартість 1 тони насіння рицини, $C_{нас.} = 26950$ грн/т.

α_{np} - відсоток олії, що може бути отримано для проектного варіанту, %

Грошовий виторг від реалізації рицинової олії для базового варіанту визначається за формулою [184, 185]:

$$Ц_{np} = \frac{Q \cdot \alpha_{баз} \cdot \Gamma_Z \cdot Ц_{ол.}}{100} - Q \cdot \Gamma_Z \cdot Ц_{нас.},$$

де $\alpha_{баз}$ - відсоток олії, що може бути отримано для базового варіанту, %

При розрахунку α_{np} , % та $\alpha_{баз}$, %, користуємося даними що приведено у розділі 4.4. Для проектного $\alpha_{np} = 49,6\%$, для базового варіанта $\alpha_{баз} = 46,5\%$.

$$Ц_{np} = \frac{0,22 \cdot 49,6 \cdot 1080 \cdot 58000}{100} - 0,22 \cdot 1080 \cdot 25950 = 669556,8 \text{ грн.}$$

$$Ц_{баз} = \frac{0,22 \cdot 46,5 \cdot 1080 \cdot 58000}{100} - 0,22 \cdot 1080 \cdot 25950 = 242352 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати за варіантами, які порівнюються, розраховуються за формулою [184, 185]:

$$J_i = Z_p + Z_e + Z_A + Z_Y, \quad (5.3)$$

где Z_p - заробітна плата працюючого оператора, яка дорівнює [184, 185]:

$$Z_p = \frac{z K_p}{Q K}, \quad (5.4)$$

где z - тарифна почасова ставка, $z=65$ грн;

$K_p=1$ – кількість працюючих;

$K = T_\phi / T_{м.ф}$ – коефіцієнт використання змінного часу;

T_ϕ – фактичний робочий час, $T_\phi=7$ год;

$T_{м.ф}$ – максимальний фонд робочого часу, $T_{м.ф}=8$ год;

Z_e - витрати на електроенергію [184, 185]:

$$Z_e = \frac{N_e C_e}{Q_{cm} k_1 k_2}, \quad (5.5)$$

де N_e - встановлена потужність електроприводу, кВт, $N_e = 11$ кВт;

C_e - вартість 1 кВт/год електроенергії, $C_e = 1,12$ грн/год;

$Q_{cm} = Q \cdot T_\phi$ - зміна продуктивності, т/зміна;

$k_1 = 0,88$; $k_2 = 0,93$ - ккд, відповідно, електродвигуна та мережі;

Z_A - витрати на амортизацію [184, 185]:

$$Z_A = \frac{C A}{100 Q K \Gamma_z}, \quad (5.6)$$

де $A = 15\%$ - норма амортизаційних відрахувань на реновацію;

C - балансова вартість пресу;

Z_r - витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування [184, 185]:

$$Z_r = \frac{C B}{100 Q K \Gamma_z}, \quad (5.7)$$

де $B = 7\%$ - норма річних відрахувань на ремонт та обслуговування.

$$Z_{p.np} = Z_{p.баз} = \frac{65 \cdot 2}{0,22 \cdot 0,875} = 675 \text{ грн/т,}$$

$$Z_{e.np} = Z_{e.баз} = \frac{11 \cdot 1,28}{0,22 \cdot 0,88 \cdot 0,93} = 78,2 \text{ грн/т,}$$

$$Z_{A.np} = \frac{126000 \cdot 15}{100 \cdot 0,22 \cdot 0,875 \cdot 1080} = 90,9 \text{ грн/т,}$$

$$Z_{A.баз} = \frac{93600 \cdot 15}{100 \cdot 0,22 \cdot 0,875 \cdot 1080} = 67,5 \text{ грн/т,}$$

$$Z_{Y.нр} = \frac{126000 \cdot 7}{100 \cdot 0,22 \cdot 0,875 \cdot 1080} = 42,4 \text{ грн/т,}$$

$$Z_{Y.баз} = \frac{93600 \cdot 7}{100 \cdot 0,22 \cdot 0,875 \cdot 1080} = 31,5 \text{ грн/т,}$$

$$J_{нр} = 675 + 78,2 + 90,9 + 42,4 = 886,5 \text{ грн/т,}$$

$$J_{баз} = 675 + 78,2 + 67,5 + 31,5 = 852,2 \text{ грн/т.}$$

$$E = 3376296 - (886,5 - 852,2) \cdot 237,6 - 2842290 = 525856 \text{ грн}$$

Строк окупності додаткових капіталовкладень визначається за формулою [184, 185]:

$$\tau_{ок} = \frac{C_{нр}}{E}, \quad (5.8)$$

$$\tau_{ок} = \frac{156000}{669556,8} = 0,4 \text{ роки}$$

Техніко-економічні показники впровадження розробленого шнекового пресу для пресування мезги насіння рицини представлені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники впровадження розробленого пресу

Найменування показників	Прес, що випускається промисловістю	Модернізований прес
1	2	3
Балансова вартість, грн	93600	156000
Продуктивність, т/год	0,22	0,22
Річне завантаження, год	1080	1080
Строк служби шнекового пресу, років	10	10
Встановлена потужність, кВт	11	11
Витрати на електроенергію, грн/т	78,2	78,2
Витрати на заробітну плату, грн/т	675	675
Витрати на амортизацію, грн/т	67,5	90,9

Продовження таблиці 5.1		
1	2	3
Витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування, грн/т	31,5	42,4
Експлуатаційні витрати, грн/т	852,2	856,5
Грошовий вигодог від реалізації рицинової олії, грн/т	2194	5681,5
Строк окупності додаткових капіталовкладень, років	-	0,4
Річний економічний ефект на один прес за рік, грн	-	458924,4

5.3 Висновки по розділу 5

1. З урахуванням результатів, які отримані на підставі проведення теоретичних і експериментальних досліджень, розроблено виготовлено та виконано випробування удосконаленого шнекового пресу для віджимання рицинової олії.

2. З результатів перевірки шнекового пресу для пресування мезги насіння рицини встановлено, що ефективність пресування рицинової олії із мезги насіння рицини за рахунок використання шнекового пресу із конструктивно-технологічними параметрами, що запропоновані у данній дисертаційній роботі, збільшується на 5-10%.

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота спрямована на вирішення науково-технічної проблеми, яка полягає у підвищенні ефективності віджимання рицинової олії шляхом визначення технологічних режимів та оптимальних конструктивних параметрів шнекових пресів. Вирішуючи науково-технічну проблему, отримали наступні висновки:

1. Проведеним аналізом результатів відомих досліджень та практичного досвіду виявлено, що існуючі конструкції пресів не зможуть відповідати вимогам щодо забезпечення якості пресування у зв'язку із відмінними фізико-механічними властивостями рицини. Для забезпечення необхідної якості пресування мезги насіння рицини, ефективними пресами є шнекові з одним пресувальним шнековим валом. 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.

2. Для розрахунку параметрів шнекового пресу розроблена математична модель тиску в каналі при віджиманні олії із мезги насіння рицини та математична модель фільтраційного руху олії з врахуванням властивостей олії і мезги насіння рицини. Дослідженнями математичних моделей виявлено закономірності впливу тиску мезги, що створюється між окремими пресувальними витками на ефективність пресування. Так, при тиску, що створюється на першому пресувальному витку $P=0,063$ мПа, відносна концентрація олії складає $C_{\phi}/C_0=0,135$; на другому пресувальному витку – $P=0,32$ мПа, $C_{\phi}/C_0=0,439$; на третьому – $P=1,28$ мПа, $C_{\phi}/C_0=0,651$; 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, $C_{\phi}/C_0=0,94$; на восьмому – $P=14$ мПа, $C_{\phi}/C_0=1$. Восьмий пресувальний виток забезпечує пресування до повної кількості олії, яку можна отримати з

мезги, тому достатня кількість пресувальних витків шнекового пресу складає вісім витків. Результати експериментальних досліджень ефективності пресування на відповідному пресувальному витку співпадають з результатами теоретичних досліджень з розбіжністю не більше 10%.

3. Для підтвердження теоретичних досліджень, обґрунтовано конструктивно-технологічну схему експериментального комплексу для віджимання олії із олійної сировини, де був запропонований метод розгорнутого каналу, який надав можливість змінювати конструктивні параметри окремих пресувальних витків шнекового пресу на одній експериментальній установці. Для проведення досліджень, розроблено програму і методику встановлення параметрів та режимів роботи з урахуванням показників якості процесу. Так, ступінь стиснення, від якого залежить номер пресувального витка, змінюється в межах $\varepsilon = 1...9,3$; зазор у зерних планках $\delta = 1,0...1,5$ мм; температура нагрівання каналу $t = 75...105$ °С.

4. Експериментальними дослідженнями встановлено оптимальні параметри шнекового преса: на першому пресувальному витку ступінь стиснення складає $\varepsilon = 1,42$; на другому – $\varepsilon = 1,79$, на третьому – $\varepsilon = 2,09$; на четвертому – $\varepsilon = 4,67$; на п'ятому – $\varepsilon = 5,35$; на шостому – $\varepsilon = 6,21$; на сьомому – $\varepsilon = 7,29$; на восьмому – $\varepsilon = 9,29$; зазор у зерних пластинах з першого по четвертий пресувальний виток $\delta = 1,5$ мм, з п'ятого по восьмий $\delta = 1,0$ мм; температура мезги під час пресування $t = 105$ °С. Це дозволило отримати критерії оптимізації на рівні: на першому пресувальному витку відносна маса олії складає $\mu = 0,0812$; на другому – $\mu = 0,272$; на третьому – $\mu = 0,368$; на четвертому – $\mu = 0,409$; на п'ятому – $\mu = 0,454$; на шостому – $\mu = 0,47$; на сьомому – $\mu = 0,489$; на восьмому – $\mu = 0,496$.

Експериментальними дослідженнями фільтраційних характеристик встановлені режими, при яких відбувається фільтрування олії через зерні пластини: швидкість фільтрації на першому пресувальному витку складає $v_\phi = 0,00106$ м/с; на другому – $v_\phi = 0,0019$ м/с; на третьому –

$v_{\phi} = 0,00184$ м/с; на четвертому – $v_{\phi} = 0,00173$ м/с; на п'ятому – $v_{\phi} = 0,00172$ м/с; на шостому – $v_{\phi} = 0,00169$ м/с; на сьомому – $v_{\phi} = 0,00168$ м/с; на восьмому – $v_{\phi} = 0,00165$ м/с. Для забезпечення такої швидкості фільтрації олії, тиск мезги повинен бути: на першому пресувальному витку $P = 0,06$ мПа; на другому – $P = 0,29$ мПа; на третьому – $P = 1,2$ мПа; на четвертому – $P = 3$ мПа; на п'ятому – $P = 5,7$ мПа; на шостому – $P = 8,2$ мПа; на сьомому – $P = 12$ мПа; на восьмому – $P = 13,5$ мПа. Розбіжність між експериментальними та теоретичними даними швидкості фільтрації олії від тиску мезги, що створюється при пресуванні, не перевищує 10 відсотків.

5. Встановлено математичне рівняння (закон стиснення) для шнекових пресів при пресуванні мезги насіння ріцини, за допомогою якого для кожного порядкового номера пресувального витка шнекового пресу визначаються вільні об'єми при різній продуктивності по насінню ріцини із забезпеченням максимальної ефективності процесу. Розрахунок всіх інших конструктивних параметрів шнекового пресу повинен бути здійсненим із дотриманням розрахункових значень згідно закону стиснення. Завдяки оптимізації конструктивно-технологічних параметрів шнекових пресів, показник олійності макухи ріцини додатково знижується на 3,1%.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горячкин В. П. Собрание сочинений: в 3 т. Москва: Колос, 1965. Т. 2. 459 с.
2. Голдовский А. М. Теоретические основы производства растительных масел. Москва: Пищепромиздат, 1958. 446 с.
3. Летошнев М. М. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование и испытание. Изд. 3-е. Москва; Ленинград: Сельхозгиз, 1955. 764 с.
4. Берг Б. А. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. Москва; Ленинград: Сельхозгиз, 1935. Т. 1. 504 с.
5. Масликов В. А. Технологическое оборудование производства растительных масел. Москва: Пищепромиздат, 1974. 439 с.
6. Чечевицин П. И. Теоретическое и экспериментальное исследование шнековых маслопрессов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1968. 20 с.
7. Прессы пищевых и кормовых производств / А. Я. Соколов и др. Москва: Машиностроение, 1973. 288 с.
8. Дидур В. А. Исследование некоторых путей повышения ресурса распределителей тракторных гидросистем при ремонте: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Минск, 1972. 160 с.
9. Дидур В. А. Методологические принципы повышения надёжности силовых сельскохозяйственных гидроприводов путем совершенствования их функциональных параметров и технической эксплуатации: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Минск, 1989. 320 с.
10. Рогатинський Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Київ, 1997. 425 с.

11. Гевко Б. М. Научные основы разработки винтовых транспортирующих механизмов сельскохозяйственных машин: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Ростов-на-Дону, 1987. 450 с.

12. Надикто В. Т. Выбор и обоснование схемы и параметров пахотного агрегата на основе трактора тягово-энергетической концепции: дис. ... канд. техн. наук / Моск. ин-т инж. с.-х. пр-ва им. В. П. Горячкина. Москва, 1989. 19 с.

13. Надикто В. Т. Основи агрегування модульних енергетичних засобів: дис... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Ін-т механізації та електрифікації сіл. гос-ва УААН. Глеваха, 2000. 36 с.

14. Клещевина / под ред. В. А. Мошкина. Москва: Колос, 1980. 352 с.

15. Дидур В. А., Ткаченко В. А. Технология переработки семян клещевины на малотоннажных предприятиях. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. 2014. Вип. 2. С. 21-35.

16. Гавриленко И. В. Оборудование для производства растительных масел. Москва: Пищевая промышленность, 1959. 370 с.

17. Акаева Т. К., Петрова С. Н. Основы химии и технологии получения и переработки жиров. Ч. 1. Технология получения растительных масел: учеб. пособие. Иваново: ИГХТУ, 2007. 124 с.

18. Жаркова Г. Огляд нових сортів та гібридів олійних культур. *Пропозиція*. 2001. № 12. С. 48-50.

19. Некоторые физические свойства семян клещевины / С. Д. Олонцева и др. *Труды ВНИИЗ*. Москва, 1967. Вып. 60. С. 179-183.

20. Дідур В. А. Зубкова К. В. Аналіз дослідження фізико-механічних властивостей насіння рицини. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2004. Вип. 19. С. 22-28.

21. Определение физико-механических свойств масличных семян с целью получения данных, необходимых для создания новейших машин и проектирования заводов. Ленинград: ВНИИЖ, 1963. 177 с.

22. Ветелкин Г. В., Рынина Н. Л. Аэродинамические свойства компонентов вороха клещевины / Кубанский филиал ВНИИЗ. Краснодар, 1984. С. 29-33.

23. Дідур В. А., Чебанов А. Б. Обґрунтування технологічних режимів пневмосепараторів з пилоосаджувальною камерою при сепарації рушанки насіння рицини. *Технічний прогрес в АПК*. Харків, 2011. Вип. 107, т. 1. С. 319-325.

24. О физико–механических свойствах клещевины / А. И. Ключников и др. *Тракторы и сельхозмашины*. 1971. № 7. С. 29-31.

25. Подготовительные процессы переработки масличных семян / В. В. Белобородов и др. Москва: Пищевая промышленность, 1974. 337 с.

26. Розробка технології, експериментального устаткування технологічної лінії по глибокій переробці насіння рицини в касторову олію для виробництва мастил для сільськогосподарської техніки: звіт про НДР / ТДАТА; кер. В. А. Дідур. Мелітополь, 2005. 99 с.

27. Жулид В. Д. Совершенствование технологии сушки семян клещевины и бобов арахиса и изыскание рабочих органов к сушилкам: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.05. Краснодар, 1970. 28 с.

28. Влияние влажности на физические свойства семян и плодов клещевины / Г. И. Гарбузова и др. *Труды ВНИИЗ*. Москва, 1968. Вып. 64. С. 105-109.

29. Дідур В. А., Чебанов А. Б. Оптимізація параметрів пневмосепаратора для сепарації рушанки рицини. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2010. Вип. 10, т. 8. С. 70-77.

30. Кудрявцев Н. Взвешенные скорости маслосемян, их ядер и оболочек. *Масложировое дело*. 1935. № 5. С. 206-208.

31. Шорсткий И. А., Худяков Д. А. Анализ реологических свойств мезги подсолнечника в процессе прессования с вариацией температуры, давления и масличности. *Вестник МГТУ*. 2019. Т. 22. С. 395-403.

32. Исследование реологии масличного материала при экструзионной обработке / А. В. Гукасян и др. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2018. № 1. С. 83–87.

33. Реологические основы расчета оборудования жиросодержащих пищевых продуктов: учебное пособие / В. А. Арет и др. Изд 2-е., перераб и доп. Санкт-Петербург: СПбГУНиПТ, 2006. 435 с.

34. Мачихин Ю. А., Мачихин С. А. Инженерная реология пищевых материалов. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 216 с.

35. Реология пищевых масс / К. П. Гуськов и др. Москва: Пищевая промышленность, 1970. 208 с.

36. Полищук В. Ю., Сагитов Р. Ф., Абдрафиков Р. Н. Методика определения коэффициента эффективной вязкости и напряжения сдвига на стенке канала шнекового пресса с методом проверки правильности результатов. *Вестник ОГУ*. 1999. № 2. С. 99-95.

37. Коротков В. Г., Зубкова Т. М., Мусиенко Д. А. Оценка процесса смещения экструдированного продукта в канале шнека. *Вестник ОГУ*. 2000. № 3. С. 104-106.

38. Исследование реологии масличного материала при экструзионной обработке / А. В. Гукасян и др. *Известие вузов. Пищевая технология*. 2018. № 1. С. 83-87.

39. Структурно-механические свойства мезги семян масличных культур / В. А. Дидур, В. А. Ткаченко, А. В. Ткаченко, В. В. Дидур, А. Л. Верещага. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. Херсон, 2017. Вип. 5. С. 7-25.

40. Наукові основи глибокої переробки насіння рицини на олію та високобілкові корми: звіт про НДР / ТДАТУ; кер. В. А. Дідур. Мелітополь, 2018. 262 с.

41. Николаев Б. А. Структурно-механические свойства мучного теста. Москва: Пищевая промышленность, 1976. 247 с.

42. Технология производства растительных масел: учебник / под ред. В. М. Копейковского и др. Москва: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. 414 с.
43. Белобородов В. В. Основные процессы производства растительных масел. Москва: Пищевая промышленность, 1966. 479 с.
44. Кошевой Е. П. Технологическое оборудование производства растительных масел: учеб. пособие. Изд. 2-е, исправл. и доп. Москва: Юрайт, 2017. 365 с.
45. ГОСТ 18102-95. Масло касторовое медицинское. Технические условия. [Дата введения 1997-01-01]. Минск: Издательство стандартов, 1997. 6 с.
46. ГОСТ 6757-96. Масло касторовое техническое. Технические условия. [Дата введения 1997-01-01]. Минск: Издательство стандартов, 1997. 4 с.
47. Майрамян С. И. Совершенствование технологии переработки семян клещевины с целью получения масел общетехнического назначения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.06 / Всесоюзный научно-исследовательский институт жиров НПО «Масложирпром». Ленинград, 1990. 21 с.
48. Гончаров Г. И., Буша А. А. Технология и оборудование для производства пищевых жиров. Киев: Урожай, 1991. 86 с.
49. Техника и технологии производства и переработки растительных масел: учебное пособие / С. А. Нагорнов и др. Тамбов: ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 96 с.
50. Кошевой Е. П. Технологическое оборудование предприятий производства растительных масел. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2001. 368 с.
51. Машина для обмолота и сепарирования семян масличных культур: пат. 2067380 РФ: МПК А01F11/00, А01F12/42 / А. М. Архипов, Р. Г. Нуруллин, А. Х. Зимагулов. № 5030025/15; заявл. 28.02.1992; опубл. 10.10.1996.

52. Устройство для обрушивания семян: пат. 2195367 РФ: МПК В02В3/12 / Я. Л. Овчинников, С. В. Колмаков. № 2001104832/13; заявл. 20.02.2001; опубл. 27.12.2002.

53. Устройство для пневматического обрушивания семян и разделения рушанки: пат. 2234372 РФ: МПК В02В3/12 / Н. И. Бирюков, Н. М. Башилов, Г. А. Константинов. № 2002116862/13; заявл. 21.06.2002; опубл. 27.03.2004.

54. Пневмасепаратор сыпучих материалов: пат. 2112607 РФ: МПК В07В4/02 / В. И. Анискин, В. М. Дринча, И. А. Пехальский, М. В. Кожевникова. № 96103737/03; заявл. 26.02.1996; опубл. 10.06.1998.

55. Пневматический сортировщик: пат. 2197336 РФ: МПК В07В4/02, В07В11/06, А01F12/44 / В. Н. Мякин, С. Г. Урюпин. № 2000108794/13; заявл. 07.04.2000; опубл. 27.01.2003.

56. Воздушный сепаратор: пат. 2215399 РФ: МПК А01F12/44, В07В4/02 / В. В. Старостин, А. И. Мерко. № 2002102903/13; заявл. 06.02.2002; опубл. 10.11.2003.

57. А. с. 292652 СССР, МПК А01f12/44, В07b11/06. Пневматический сепаратор семян / А. М. Корн, А. С. Матвеев, В. И. Воробьев, Д. А. Крысин, С. И. Ильин, Л. В. Варнакова. № 1354625/30-15; заявл. 31.07.1969; опубл. 15.01.1971, Бюл. № 5.

58. Пристрій для обрушення насіння олійних культур: пат. 32045 А Україна: МПК В02В3/12 / В. Б. Кльонон, О. В. Кльонон, А. В. Курілко. № 98126661; заявл. 17.12.1998; опубл. 15.12.2000. Бюл. № 7.

59. Повітряний сепаратор: пат. 46325 А Україна: МПК В02В3/12 / М. І. Васильковський, О. М. Васильковський, Р. В., Кісільов, М. М. Косінов, С. М. Мороз. № 2001064297; заявл. 20.06.2001; опубл. 15.05.2002. Бюл. № 5.

60. Пневмосепаратор обрушеного насіння: пат. 38052 А Україна: МПК В07В4/00 / В. Б. Кльонон, А. В. Курілко. № 2000052916; заявл. 23.05.2000; опубл. 15.05.2001. Бюл. № 4.

61. А. с. 1331567 СССР, МКИ В03С7.02. Коронно-электростатический сепаратор / Е. Н. Салтыков, Е. А. Смирнов. № 4015354; заявл. 31.01.1986; опубл. 23.08.87, Бюл. № 31.

62. А. с. 1660750 СССР, МКИ В07С7/02. Диэлектрический сепаратор / А. Юсубалиев, Л. Нигматов, Ф. Юсупов. № 4465050; заявл. 27.07.1988; опубл. 07.07.91, Бюл. № 25.

63. Спосіб отримання безлузгового ядра насіння рицини: пат. 13645 Україна: МПК С11В1/04 / В. А. Дідур, К. В. Зубкова. № u200509278; заявл. 03.10.2005; опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4.

64. Спосіб обрушення насіння рицини: пат. 15551 Україна: МПК В02В3/04 / В. А. Дідур, К. В. Зубкова. № u200511560; заявл. 05.12.2005; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.

65. Машина для попередньої обробки рицини: пат. 15664 Україна: МПК С11В1/04 / В. А. Дідур, К. В. Зубкова. № u200512870; заявл. 30.12.2005; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.

66. Дідур В. А., Зубкова К. В. Удосконалення способу отримання безлузгового ядра насіння рицини. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2006. Вип. 42. С. 83-91.

67. 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 Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. (м. Мелітополь, 2-27 листопада 2020 р.) / ТДАТУ. Мелітополь, 2020. С. 673-678.*

68. Чебанов А. Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневмосепаратора рушанки рицини з пиловловлюючим пристроєм: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / ТДАТУ. Мелітополь, 2013. 188 с.

69. Масликов В. А. Примеры расчетов оборудования производства растительных масел. Москва: Пищепромиздат, 1959. 230 с.

70. Калошин Ю. А. Технология и оборудование масложировых предприятий. Москва: Академия, 2002. 363 с.
71. Масликов В. А. Технологическое оборудование производства растительных масел. Москва: Пищепромиздат, 1962. 228 с.
72. Белобородов В. В. Основные процессы производства растительных масел. Москва: Пищевая промышленность, 1966. 475 с.
73. Гавриленко И. В. Оборудование для производства растительных масел. Москва: Пищевая промышленность, 1972. 450 с.
74. Горбатьюк В. И. Процессы и аппараты пищевых производств. Москва: Колос, 1999. 335 с.
75. Шевчук В. В. Обґрунтування параметрів вальцової плющилки насіння олійних культур: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Львів, 2013. 166 с.
76. Гавриленко И. В. Маслоэкстракционное производство. Москва: Пищепромиздат, 1960. 247 с.
77. Didur V., Kyurchev V., Chebanov A., Aseev A. Increasing the efficiency of the technological process of processing castor-oil seeds into castor oil. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations: Conference proceedings / Tavria State Agrotechnological University*. 2019. Part 1. P. 17-27. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5_3.
78. Дідур В. В., Дідур В. А., Чебанов А. Б., Асєєв А. А. Оптимізація параметрів волого-теплової обробки м'ятки при виділенні олії із насіння рицини. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-14.
79. Щербаков В. Г. Химия и биохимия переработки масличных семян. Москва: Пищевая промышленность, 1977. 168 с.
80. Щербаков В. Г. Технология получения растительных масел. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва: Колос, 1992. 207 с.

81. Дидур В. А., Ткаченко В. А., Ткаченко А. В., Дидур В. В. Математическая модель кондуктивного и конвективного тепло- и массопереноса в многочанной жаровне. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. Мелітополь, 2016. Вип. 4. С. 14-31.

82. Дидур В. А., Ткаченко В. А., Ткаченко А. В., Дидур В. В. Математическая модель процесса подготовки масличного сырья в многочанной жаровне. *MOTROL. Commission of motorszation and energetycs in agriculture*. Lublin, 2016. Vol. 18, № 1. С. 29-36.

83. Дидур В. А., Ткаченко В. А. Технология переработки семян клещевины на малотоннажных предприятиях. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. Мелітополь, 2014. Вип. 4. С. 21-35.

84. 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 Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. (м. Мелітополь, 2-27 листопада 2020 р.) / ТДАТУ*. Мелітополь, 2020. С. 77-82.

85. О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение / пер. с англ. В. Д. Широковой и др. Санкт-Петербург: Профессия, 2007. 752 с.

86. Лабораторный практикум по технологии отрасли (производство растительных масел) / под ред. Е. П. Корненой. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2013. 224 с.

87. Actual methods for obtaining vegetable oil from oilseeds / I. Mariana, U. Nicoleta, B. Sorin-Ştefan, V. Gheorghe, D. Mirela. *Conference: TE-RE-RD / University politehnica of Bucharest, Department of biotechnical systems*. 2013. P. 167-172.

88. Comparison of oil press for jatropha oil – a review / A. N. Siregar et al. *Research in Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 61, № 1. P. 1-13. DOI: 10.17221/22/2013-RAE.

89. Остроушко В. Л., Панченко В. Ю. Экстрагирование в Системе «твердое тело – жидкость». *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. Харьков, 2012. № 4/6 (58). С. 12-14.

90. Остроушко В. Л., Панченко В. Ю. Технологічні аспекти процесу екстракції рослинних олій. *Вісник національного технічного університету «ХПИ»*. Харків, 2012. № 34. С. 117-120.

91. Константинов В. Е. Математическое моделирование экстрагирования из маслосодержащего сырья и равновесие в системе «капиллярно-пористое тело – жидкость»: дис. ... канд. техн. наук / КубГТУ. Краснодар, 2002. 125 с.

92. Белобородов В. В. Методика лабораторной экстракции. *Масложировая промышленность*. 1957. № 2. С. 17.

93. Белобородов В. В. Структура экстрагируемого материала, как один из определяющих факторов эффективности процесса экстракции. *Масложировая промышленность*. 1957. № 5. С. 20-22.

94. Петик П. Ф. Використання альтернативних розчинників для екстракції рослинних олій. *Інтегровані технології та енергозбереження*, 2014. № 2. С. 77-85.

95. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / под ред. А. Г. Сергеева. Ленинград: ВНИИЖ, 1974. Т. 1, кн. 2. 331 с.

96. Dasari S. R., Goud V. V. Effect of pre-treatment on solvents extraction and physico-chemical properties of castor seed oil. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 2014. Vol. 6, № 6. 063108. DOI: 10.1063/1.4901542.

97. Горбенко О. А., Стрельцов В. В., Катрич О. О. Обґрунтування конструктивного рішення шнекового пресу з пропарюючим пристроєм. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. Миколаїв, 2009. Вип. 2. С. 225-232.

98. Горбенко Е., Стрельцов В., Горбенко Н. Инновационная технология производства растительного масла. *MOTROL. Commission of motorszation and energetycs in agriculture*. Lublin, 2012. Vol. 14, № 2. С. 125-130.

99. Голдовский А. М. Физико-химические и биохимические основы производства растительных масел. Москва; Ленинград: Пищепромиздат, 1938. 269 с.
100. Масликов В. А. Исследование процесса прессования подсолнечной мезги на прессе типа ФП: дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 1955. 205 с.
101. Масликов В. А. Некоторые вопросы конструкции шнековых прессов. *Маслобойно-жировая промышленность*. 1953. № 6. С. 11-15.
102. Масликов В. А. Примеры расчетов оборудования производства растительных масел. Москва: Пищепромиздат, 1959. 224 с.
103. Кичигин В. П. Технология и технохимический контроль производства растительных масел: учебное пособие. Москва: Пищевая промышленность, 1976. 359 с.
104. Кошевой Е. П. Оборудование для производства растительных масел. Москва: Агропромиздат, 1991. 204 с.
105. Василенко В. Н., Копылов М. В. Исследование кинетических закономерностей процесса извлечения растительных масел в шнековом маслопрессе. *Вестник ВГУИТ*. 2012. № 1. С. 10-12.
106. Бышов Н. В., Черных И. В., Корнюшин В. М. Средства повышения производительности маслолиний. *Вестник АПК Ставрополя*. 2015. № 2 (18). С. 22-25.
107. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / под ред. А. Г. Сергеева. Ленинград: ВНИИЖ, 1974. Т. 1, кн. 1. 331 с.
108. Влияние условий пресования на выход и качество масла / С. К. Мустафаев, Е. А. Калиенко, Д. В. Сонина, С. Г. Ефименко. *Научный журнал КубГАУ*. 2014. №100 (06). С. 1-13.
109. Кайрабаева А. Разработка оборудования для получения растительного масла из семян бахчевых культур методом холодного отжима: дис. ... докт. философии. Алматы. 2018. 134 с.

110. Adetola O. A., Olajide J. O., Olalusi A. P. Development of a screw press for palm oil extraction. *International journal of scientific & engineering research*. 2014. Vol. 5, № 7. P. 1416-1422.

111. Дослідження конструкцій робочих органів олієвідтискних пресів / О. А. Горбенко, В. В. Стрельцов, Н. А. Доценко, Н. І. Кім. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2017. Вип. 17, т. 1. С. 49-55.

112. Геррман Х. Шнековые машины в технологии / пер. с нем. Л. Г. Веденятиной. Ленинград: Химия, 1975. 231 с.

113. Петров В. И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств: учебное пособие. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2002. Ч. 1. 116 с.

114. Гудзенко М. М. Різновиди конструкцій пресів для віджимання олії. *Пропозиція*. 2013. № 3. С. 146-149.

115. Лисицин А. Н., Григорьева В. Н., Лишаева Л. Н. Масложировая отрасль, прошлое и настоящее. *Вестник ВНИИЖ*. 2013. № 2. С. 22-37.

116. ГОСТ 13979.2-94. Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Метод определения массовой доли жира и экстрактивных веществ. [Введен 1996-07-01]. Москва: Издательство стандартов, 1996. 9 с.

117. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса для віджимання мезги насіння рицини (на прикладі одного витка шнекового вала) / В. В. Дідур, А. Б. Чебанов, В. А. Дідур, О. П. Назарова, О. Л. Верещага. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Кропивницький, 2019. Вип. 2(33). С. 34-43. DOI: 10.32515/2664-262X.2019.2(33).34-43.

118. Гудзенко М. Влияние некоторых технологических параметров масло преса на его качественные и технические параметры. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2013. Vol. 15, № 3. P. 142-149.

119. Parameters influencing the screw pressing process of oilseed materials / M. Ionescu et al. University politehnica of Bucharest, Department of biotechnical

systems, biotechnical systems research and development center. Conference Paper. 2014. P. 243-248.

120. Гудзенко М. М., Василенков В. С. Дослідження причин виходу з ладу нагрівальних елементів прес-екструдера. *SWorld*. 2019. № 1. С. 22-27.

121. Искендеров Ж. У. Технологические особенности универсального станка ММП-150/50 при производстве растительного масла из семян масличных культур. *Наука и новые технологии*. 2011. № 2. С. 70-73.

122. Оборудование для переработки масличных культур. URL: <https://ukrekspo.com.ua> (дата звернення: 10.05.2020).

123. ООО Лаврин – Украинский производитель оборудования для производства растительных масел и переработки зерновых. URL: <https://lavrin.com.ua> (дата звернення: 21.05.2020).

124. Голубев И. Г., Шванская И. А. Оборудование для подготовки масличных культур: Каталог. Москва: Росийформагротех, 2008. 116 с.

125. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. URL: <https://www.ktbl.de/> (дата звернення: 29.05.2020).

126. Kurki Al, Bachman Janet, Hill Holly. Oilseed processing for small-scale producer. *Attra Sustainable agriculture*. 2008. URL: <https://attra.ncat.org/product/oilseed-processing-for-small-scale-producers/> (дата звернення: 29.05.2020).

127. IBG Monforts – Wir sind Experten für Ölpressen. URL: <http://www.ibg-monforts.com/oelpressen/> (дата звернення: 29.05.2020).

128. Vincent Corporation – International Dewatering Screw Press Desing. URL: <https://www.vincentcorp.com> (дата звернення: 29.05.2020).

129. Desmet Ballestra. Mini Presses. URL: <https://www.desmetballestra.com/rosetdowns/mini-presses> (дата звернення: 29.05.2020).

130. Savoie R., Lanoisellй J., Vorobiev E. Mechanical continuous oil expression from oilseeds: a review. *Food and Bioprocess Technology*. 2013. Vol. 6, № 1. P. 1-16. DOI: 10.1007/s11947-012-0947-x.

131. Шнековый пресс для отжима растительных масел: пат. 2104872 Россия: МПК В30В 9/16 (1995.01) / В. А. Мельтюхов, В. В. Попельнух, В. В. Сулима. № 96124219/02; заявл. 25.12.1996; опубл. 20.02.1998.

132. А. с. 1460878 СССР, МКИ В30В9/12 (1995.01), С11В 11/06 (1995.01). Шнековый прес / Л. Э. Брейво, Б. А. Апухтин, В. И. Невский. № 4286067/13; заявл. 15.06.1987. опубл. 27.10.1996.

133. Шнековый пресс для отжима растительных масел: пат. 2094233 Россия: МПК В30В9/14 (1995.01) / Г. В. Зарембо-Рацевич, В. В. Ключкин, В. И. Краснобородько, А. Д. Пареха, А. Н. Лисицин, Г. Ф. Федоров. № 94037459; заявл. 30.09.1994, опубл. 30.09.1994.

134. Масловыжимной пресс: пат. 2041924 Россия: МПК С11В1/06 (1995.01) / С. П. Гуленко, В. Г. Ковчунов, Н. И. Маховиков, А. С. Ретюнский, В. В. Смирнов. № 5064371/13; заявл. 04.06.1992, опубл. 20.08.1995.

135. Пресс для извлечения жидкого масла из масличных семян: пат. 2096180 Россия: МПК В30В9/12 (1995.01), В30В9/00 (1995.01), С11В1/06 (1995.01) / В. Н. Власов, И. Н. Власов, А. М. Орлович, М. Б. Устюгов, Ф. Г. Бекк, Н. А. Трусов, В. Б. Тимошенко. № 94037459; заявл. 07.11.1992; опубл. 20.11.1997.

136. Шнек пресса для извлечения масла из маслосодержащего сырья: пат. 2112655 Россия: МПК В30В 9/12 (1995.01) / М. А. Гришков. № 97109958/02; заявл. 11.06.1997; опубл. 10.06.1998.

137. Пресс для получения пищевого растительного масла: пат. 2642476 Россия: МПК С11В1/06 (2006.01) / С. В. Шахов, С. Т. Антипов, А. А. Берестовой, А. Н. Мартеха, И. С. Юрова, Е. З. Матеев. № 2016144215; заявл. 10.11.2016; опубл. 25.01.2018. Бюл. № 3.

138. Маслопресс: пат. 2565024 Россия: МПК С11В1/06 (2006.01) / О. В. Абрамов, Е. В. Сысоев, М. В. Копылов. № 2014129337/13; заявл. 16.07.2014; опубл. 10.10.2015. Бюл. № 28

139. Пресс для получения растительных масел: пат. 2642076 Россия: МПК С11В 1/06 (2006.01) / М. В. Копылов, В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова,

Н. А. Михайлова, Д. А. Таркаева. № 2016103807; заявл. 06.02.2016; опубл. 24.01.2018. Бюл. № 22.

140. Прес для віджимання олії із олієвмісної рослинної сировини: пат. 76532 Україна: МПК В30В 9/12, В30В 9/18 (2006.01) / М. І. Єсьман, В. І. Ніцко, О. Д. Ткачук, Г. Ф. Захаров. № 20040604408; заявл. 08.06.2004, опубл. 15.08.2006. Бюл. № 8.

141. Шнековий прес для віджимання олії: пат. 31622 Україна: МПК В30В9/12 В30В9/18 (2008.01) / Р. С. Шевчук, В. В. Том'юк. № u200800120; заявл. 02.01.2008, опубл. 10.04.2008. Бюл. № 7.

142. Шнековий олійний прес: пат. 51354 Україна: МПК В30В 9/18 (2006.01) / Р. С. Шевчук. № u201001144; заявл. 04.02.2010, опубл. 12.07.2010. Бюл. № 13.

143. Patent 5333556 United States, Int В30В 15/34; В30В 9/16. Double press screw / Seiichiro Isobe, Akinori Noguchi, Kunihiko Uemura. № 860,120; filed 31.03.1992, pub. date 02.08.1994.

144. Patent US2008/0196601A1 United States, Int А23N I/00 (2006.01). Oil expeller / Jose Guilherme Scott, Sao Paulo. № 11/619,843; filed 04.01.2007, pub. date 21.08.2008.

145. Братішко В. В. Механіко-технологічні основи приготування повнорационних комбикормів гвинтовими грануляторами: дис. ... докт. техн. наук: 05.05.11. Глеваха. 2017. 372 с.

146. Горюнов А. И. Ямалиев Р. Р. Ахмедзянов Д. А. Метод структурного и параметрического синтеза и анализа энергоустановок. *Молодой учёный*. 2011. № 2(25), т. 1. С. 16-19.

147. Янков В. И., Боярченко В. И., Первадчук В. П. Переработка волокнообразующих полимеров: в 7 т. Т. 2. Течение полимеров в шнековых насосах. Москва; Ижевск, 2005. 998 с.

148. Раувендааль К. Экструзия полимеров. Санкт-Петербург: Профессия, 2010. 768 с.

149. Колесниченко В. И., Шарифулин А. Н. Введение в механику несжимаемой жидкости: учеб. пособие. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2019. 127 с.

150. Валуева Е. П., Свиридов В. Г. Введение в механику жидкости. Москва: Изд-во МЭИ, 2001. 212 с.

151. Проектирование экструзионных машин с учетом качества резинотехнических изделий: монография / М. В. Соколов, А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько. Москва: Машиностроение-1, 2007. 292 с.

152. Петров И. А., Славнов Е. В. Моделирование шнек-прессового отжима как совокупности процессов течения вязкой несжимаемой смеси и фильтрации жидкости сквозь пористую среду. *Вычислительная механика сплошных сред*. 2013. Т. 6, № 3. С. 277-285. DOI: 10.7242/1999-6691/2013.6.3.31.

153. Справочник инженера машиностроителя: в 6 т. / под ред. Н. С. Анчеркана. Москва: Машгиз, 1956. Т. 2. 562 с.

154. Петров И. А., Славнов Е. В. Модель утечек через радиальные зазоры в одношнековом экструдере со слабо линейно изменяющейся по длине геометрией шнека. *Вычислительная механика сплошных сред*. 2012. Т. 5, № 4. С. 461-468. DOI: 10.7242/1999-6691/2012.5.4.54.

155. Анферов С. Д., Скульский О. И. Моделирование фильтрации жидкости через пластически деформируемую пористую среду в процессе экструзионного отжима. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика*. Пермь, 2014. № 2. С. 29-47.

156. Liu J., Mu L., Ye X. A Comparative Study of Locally Conservative Numerical Methods for Darcy's Flows. *Procedia Computer Science*. 2011. Vol. 4. P. 974-983. DOI: 10.1016/j.procs.2011.04.103.

157. El-Amin M.F., Salama A, Sun S. A. Conditionally Stable Scheme for a Transient Flow of a Non-Newtonian Fluid Saturating a Porous Medium. *Procedia Computer Science*. 2012. Vol. 9. P. 651-660. DOI: 10.1016/j.procs.2012.04.070.

158. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов). Москва: Химия, 1977. 464 с.
159. Choquet C. On a fully coupled nonlinear parabolic problem modelling miscible compressible displacement in porous media. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*. 2008. Vol. 339, № 2. P. 1112-1133. DOI: 10.1016/j.jmaa.2007.07.037.
160. Asgari A., Bagheripour M. H., Mollazadeh M. A generalized analytical solution for a nonlinear infiltration equation using the exp-function method. *Scientia Iranica*. 2011. Vol. 18, № 1. P. 28-35. DOI: 10.1016/j.scient.2011.03.004.
161. Потапочкин В. В., Ляшков В. И. Исследование вязкости касторового масла. *Вестник ТГУ*. 1997. Т. 2, вып. 2. С. 233-234.
162. Надикто В. Т. Основи наукових досліджень: підручник. Херсон: Олді-плюс, 2017. 268 с.
163. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рошин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Изд. 2-е. Ленинград: Колос, 1980. 168 с.
163. Монтгомери Л. К. Планирование эксперимента и анализ данных. Пер. с англ. Ленинград: Судостроение, 1980. 420 с.
164. Підручник дослідника: навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. Кіровоград, 2016. 204 с.
165. Бондарь А. Г., Статюха Г. А. Планирование эксперимента в химической технологии. Киев: Вища школа. 1976. 180 с.
166. Василенко П. М. Элементы методики математической обработки результатов экспериментальных исследований. Москва, 1958. 168 с.
167. Веденянин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. Москва: Колос, 1973. 199 с.
168. Кассандрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов наблюдений. Москва: Наука. 1970. 104 с.

169. 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.

170. Пристрій для пресування мезги олійних культур: пат. 141085 Україна: МПК В30В 9/02, С11В 1/04 (2006.01) / А. Б. Чебанов, О. Л. Верещага, Ю. В. Чебанова. №: u201908199; заявл. 15.07.2019, опубл. 25.03.2020. Бюл. № 6.

171. Масликов В. А. Тарасов С. Г. Кинетика жарения подсолнечной мятки. *Известия вузов. Пищевая технология*. 1965. № 2. С. 147.

172. Ключкин В. В., Стам Г. Я. Рациональная технология подготовки семян клещевины к извлечению масла. *Масложировая промышленность*. 1977. № 9. С. 13-16.

173. Didur V., Chebanov A., Didur V., Aseev A. Foundation of operating practices of seed meal moisture and heat treatment on oil extraction from castor beans. *Journal of Agriculture and Environment*. 2017. Vol. 1, № 1. P. 9-15.

174. Колпаков И. П. Руководство по эксплуатации шнековых прессов ФП и ЕП при переработке семян подсолнечника. Москва: Пищепромиздат, 1951. 127 с.

175. Сірій І. О, Кушнар'єв А. С., Сірій І. С. Обґрунтування конструктивних параметрів нового робочого органу з активаторами розпушування ґрунту. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2017. Вип. 17, т. 2. С. 26-36.

176. 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*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 2. С. 41-47.

177. ГОСТ 5947-68. Семена хлопчатника. Технические условия. [Дата введения 1968-09-01]. Москва: Стандартинформ, 1968. 22 с.

178. Белобородов В. В. Корганашвили Л. Д. Определение

коэффициента фильтрации подсолнечного шрота. *Известия вузов. Пищевая технология*. 1981. № 2. С. 97-99.

179. Степанов Е. Г. Определение коэффициента фильтрации яблочной мезги. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2000. № 1. С. 58-59.

180. Ловкис С. В., Шабета М. П. Фильтрация жидкотекучих технологических суспензий в пищевых технологиях. *Вестник национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук*. 2015. № 2. С. 118-125.

181. Бабенышев С. П., Чернов П. С., Мамай Д. С. Моделирование мембранных процессов жидких систем. *Научный журнал Кубанского ГАУ*. 2012. № 76. С. 484-494.

182. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса для віджимання мезги насіння рицини / А. Б. Чебанов, В. А. Дідур, О. Л. Верещага, О. П. Назарова, В. В. Дідур. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 4: Технічні науки. С. 21-32. DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-21-32.

183. 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. Vol. 59, № 1. P. 48-53. DOI: 10.24412/3453-9875-2021-59-1-48-53.

184. ГОСТ 23729-88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки специальных машин. Москва: ГОСКОМ по стандартам, 1988. 6 с.

185. Експертно-аналітична оцінка технологічних і економічних показників сільськогосподарської техніки: навчально-методичний посібник / М. Г. Данильченко та ін. Тернопіль: Економічна думка, 2001. 61 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Методика багатфакторного експерименту

При кодуванні факторів використовували наступна формула [165]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta_i}, \quad (\text{A.1})$$

де x_i – кодоване значення фактору;

X_i - значення фактору на i - рівні;

X_{i0} – значення фактору на нульовому рівні;

Δ_i – інтервал варіювання.

Кожний фактор варіюється на верхньому (+) та нижньому (-) рівнях.

Для визначення ступеню впливу факторів на критерій оцінки необхідно шляхом експериментальних досліджень встановити залежність між ними, що досягається шляхом апроксимації. Найбільш точним методом апроксимації є метод поліноміального опису процесу за допомогою рівняння регресії, яке в загальному випадку має вигляд [165]:

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_3 + b_3x_4 + b_{12}x_1x_3 + b_{13}x_1x_4 + b_{23}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_3^2 + b_{33}x_4^2, \quad (\text{A.2})$$

де b_i - коефіцієнт регресії i -го фактора та їх парної взаємодії.

Значення факторів кодували і, згідно з відомими методиками, знаходили коефіцієнти регресії b_i , які і визначають ступінь впливу зазначених факторів на критерій оптимізації y_i .

Перевірку відтворюваності дослідів здійснювали за критерієм Кохрена. Умова відтворюваності має вигляд [165]:

$$G^P = \frac{S_{U\max}^2}{\sum S_U^2} \leq G(0,05; n; f_u), \quad (\text{A.3})$$

де $G(0,05; n; f_u)$ - табличне значення критерію Кохрена;

$S_{U\max}^2$ - найбільша із дисперсій;

0,05 – означає 5%-й рівень статистичної значущості;

n – число незалежних оцінок дисперсій (кількість дослідів);

$f_u = m_0 - 1$ - число ступенів вільності;

m_0 - число повторностей.

Дисперсії результатів дослідів розраховали за виразом [165]:

$$S_u^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \cdot \sum_{i=1}^{m_0} (Y_{Ui} - \bar{Y}_U)^2, \quad (\text{A.4})$$

де i - номер повторності;

Y_{Ui} - значення вихідного параметру в i -й повторності;

\bar{Y}_U - середнє значення вихідного параметру у U -му досліді.

Дисперсію відтворюваності (помилку дослідів) визначали як середнє арифметичне значення дисперсій, що мали місце у всіх дослідях [165]:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n S_u^2. \quad (\text{A.5})$$

Коефіцієнти математичної моделі визначали за формулами [165]:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{U=1}^n \bar{Y}_U, \quad (\text{A.6})$$

$$b_i = \frac{1}{n} \sum_{U=1}^n (x_{iU} \cdot \bar{Y}_U), \quad (\text{A.7})$$

$$b_i = \frac{1}{n} \sum_{U=1}^n (x_{iU} \cdot x_{jU} \cdot \bar{Y}_U), \quad (\text{A.8})$$

де x_{iU} - значення i -го кодового фактора в рядку матриці в U -му досліді;

x_{jU} - значення j -го кодового фактора в рядку матриці в U -му досліді.

Адекватність регресійної математичної моделі перевіряли за допомогою критерію Фішера (F -критерію). За умови адекватності моделі її можна використовувати при наступних дослідженнях.

Адекватність має місце, якщо [165]:

$$F^P = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F(0,05; f_{ad}; f_y), \quad (\text{A.9})$$

де F^P - розрахункове значення коефіцієнту Фішера;

$F(0,05; f_{ad}; f_y)$ - табличне значення коефіцієнту Фішера для 5%-го рівня значущості;

f_{ad} - число ступенів вільності дисперсії адекватності;

f_y - число ступенів вільності дисперсії відтворення;

S_{ad}^2 - дисперсія адекватності;

S_y^2 - дисперсія відтворюваності дослідів.

Число ступенів вільності дисперсії адекватності визначається за рівнянням [165]:

$$f_{ad} = n - k - 1, \quad (\text{A.10})$$

де k - кількість факторів

Число ступенів вільності дисперсії відтворення розраховується як [165]:

$$f_y = n(m_0 - 1). \quad (\text{A.11})$$

Дисперсія S_{ad}^2 обчислюється за формулою [165]:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n-k-1} \cdot \sum_{U=1}^n (Y_{Ui} - \bar{Y}_U)^2, \quad (\text{A.12})$$

де Y_{Ui} - розрахункове значення відгуку в i -му досліді, яке визначається шляхом підстановки знайдених коефіцієнтів до лінійної частини обраного поліному.

Встановлення значимості коефіцієнтів регресії проводили за критерієм Стюдента. Коефіцієнт вважався значущим, якщо виконувалася умова [165]:

$$|b_a| \geq \Delta b_a, \quad (\text{A.13})$$

де $|b_a|$ - розраховані коефіцієнти поліному;

Δb_a - довірча межа.

Довірчу границю визначали за рівнянням [165]:

$$\Delta b_a = t(0,05; f_y) \cdot \sqrt{\frac{S_y^2}{n}}, \quad (\text{A.14})$$

де $t(0,05; f_y)$ - коефіцієнт Стюдента при 5%-му рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності, яке обирали за таблицями.

Коефіцієнт регресії визнавали статистично значимим величині довірчого інтервалу, якщо його абсолютне значення дорівнювало або перевищувало його. Якщо виконувалась нерівність $|b_i| < \Delta b_a$, відповідний фактор аналізували щодо вибору іншого інтервалу варіювання, якщо це можливо. При цьому всі необхідні досліді повторювали і, якщо після аналізу відповідний коефіцієнт знову відповідав попередній умові, робили висновок про значущість впливу фактора x_i на критерій y_i (відносну масу олії).

Додаток Б
Оптимізація конструктивно технологічних параметрів
шнекових витків

Розрахунки для другого пресувального витка є наступними.

Модель другого порядку для розрахунку відносної маси олії в залежності від конструктивно-технологічних факторів на другому пресувальному витку має вигляд:

$$Y(\mu) = -0,305\varepsilon^2 + 6,244\delta^2 - 0,001t^2 - 0,020\varepsilon \cdot \delta - 0,001\varepsilon \cdot t + 1,249\varepsilon - 15,592\delta + 0,212t - 0,807, \quad (\text{Б.1})$$

Коефіцієнт b_{23} за критерієм Стьюдента незначущий, тому в моделі не присутній. Отримана нелінійна модель адекватна дослідним даним, так як $F_p = 1,124 < F_k = 2,092$.

Визначимо точку оптимуму для канонічного рівняння (Б.1). Для визначення стаціонарної точки, прирівнюємо приватні похідні до нуля.

Отримаємо:

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \varepsilon} = 0,61\varepsilon - 0,02\delta - 0,001t + 1,249 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \delta} = -0,02\varepsilon + 12,488\delta - 15,592 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial t} = -0,001\varepsilon - 0,002t + 0,212 = 0$$

Розкодований центр оптимуму має наступні значення:

$$\varepsilon = 1,79; \delta = 1,5 \text{ мм}; t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

Максимальне значення функції: $- Y(\mu) = 0,272$.

Розглянемо можливі двомірні перетини, що мають найбільш практичне значення при фіксації одного з факторів.

1) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , °С.

При $\varepsilon = 1,64$ ($x_1 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 7,035\delta^2 - 0,00001t^2 - 0,0802\delta \cdot t - 17,755\delta + 0,0042 + 23,772. \quad (\text{Б.2}).$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.1.

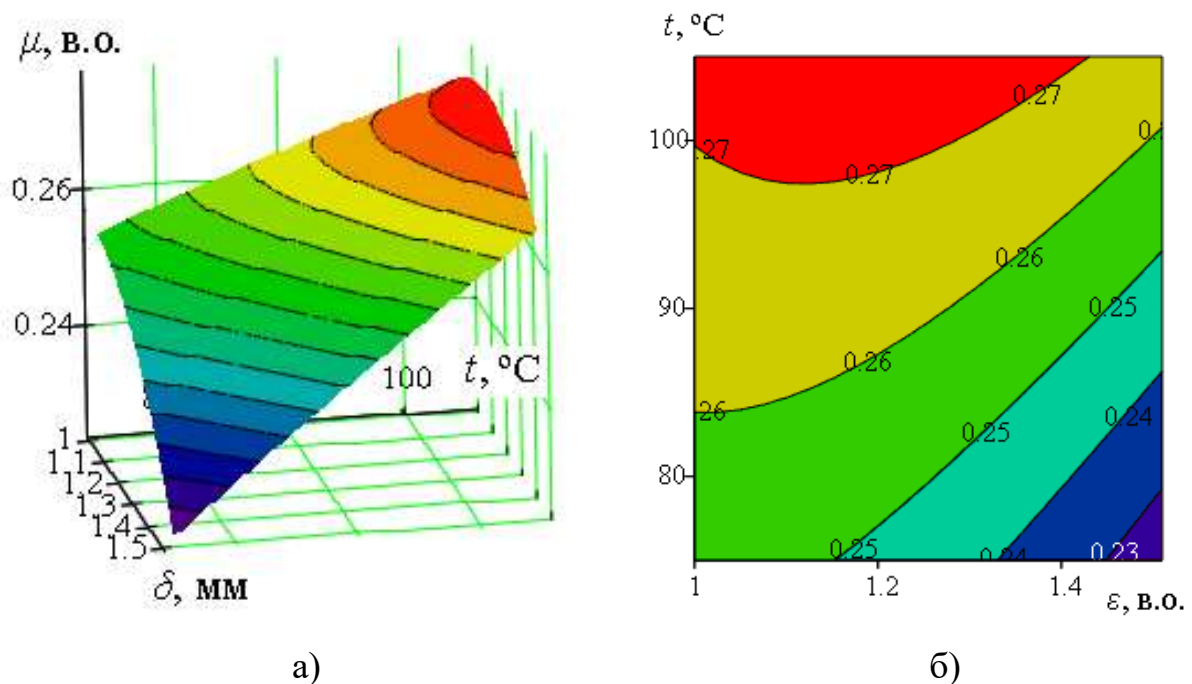


Рисунок Б.1 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , °С

2) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , °С.

При $\delta = 1,25$ мм ($x_2 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,229\varepsilon^2 - 0,00001t^2 + 0,002\varepsilon \cdot t - 0,086\varepsilon - 0,0993t + 12,095. \quad (\text{Б.3})$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.2.

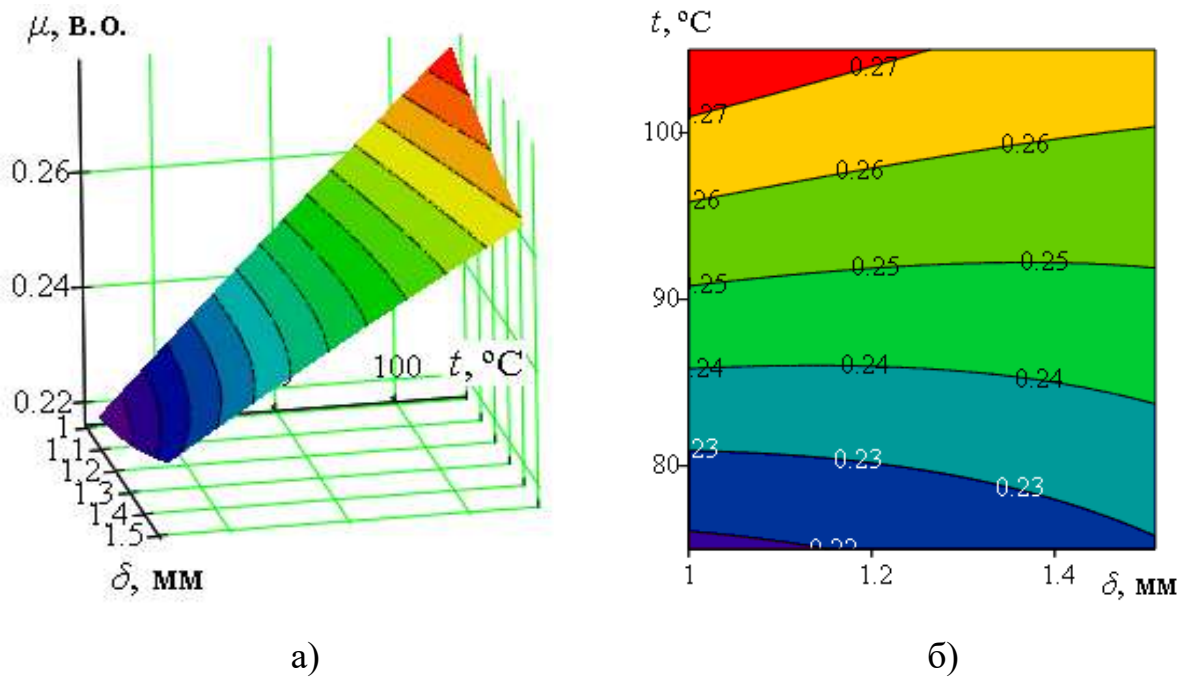


Рисунок Б.2 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , °С.

3) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

При $t = 90$ °С ($x_3 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,229\varepsilon^2 + 7,035\delta^2 - 0,086\varepsilon - 17,755\delta + 23,297. \quad (\text{Б.4})$$

Графіки та лінії рівня представлені на рис. Б.3.

На основі вирішених систем рівнянь з приватними похідними, отримані точки оптимуму: значення ступеню стиснення $\varepsilon = 1,79$; зазор в зерних планках $\delta = 1,5$ мм; температура мезги $t = 105$.

Розрахунки для третього пресувального витка є наступними.

Модель другого порядку для розрахунку відносної маси олії в залежності від конструктивно-технологічних факторів на третьому пресувальному витку має вигляд:

$$Y(\mu) = 1,099\varepsilon^2 - 5,491\delta^2 - 0,001t^2 + 0,091\varepsilon \cdot \delta + 0,007\varepsilon \cdot t - 4,458\varepsilon + 13,582\delta + 0,183t - 8,775. \quad (\text{Б.5})$$

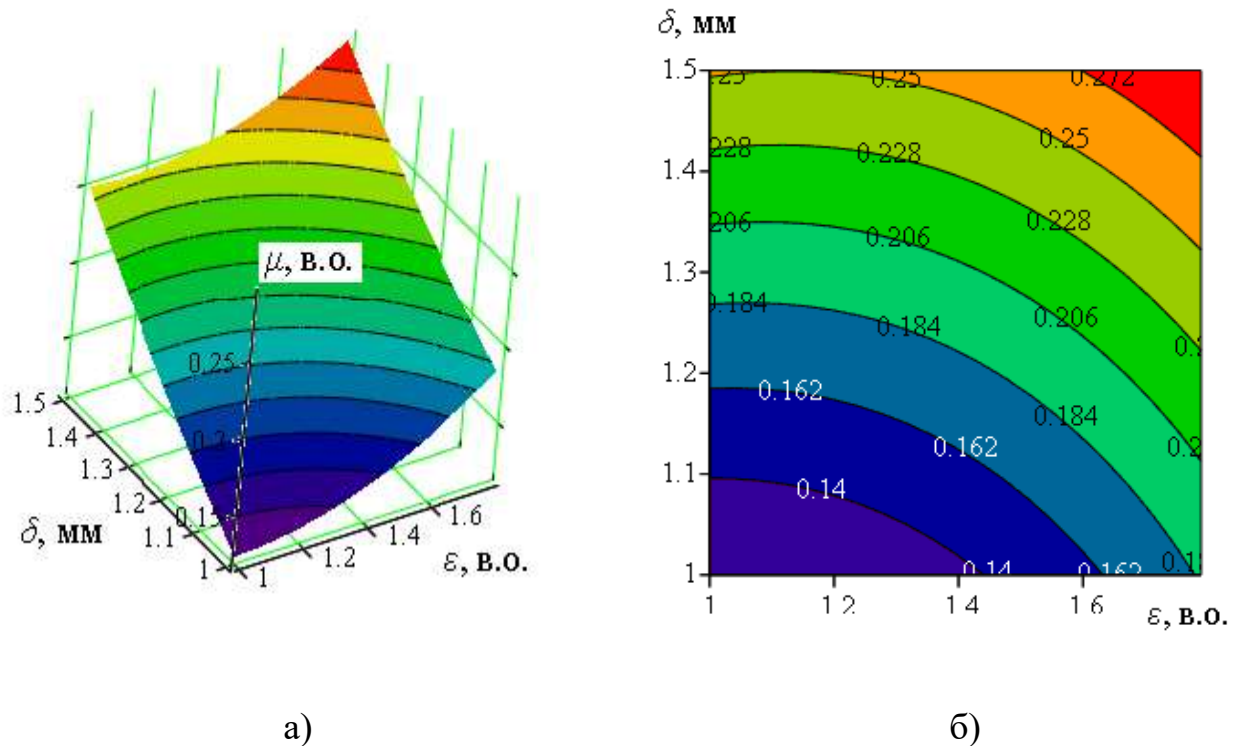


Рисунок Б.3 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеня стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

Коефіцієнт b_{23} за критерієм Стюдента незначущий, тому в моделі не присутній. Отримана нелінійна модель адекватна дослідним даним, так як $F_p = 0,988 < F_k = 2,092$.

Визначимо точку оптимуму для канонічного рівняння (Б.5). Для визначення стаціонарної точки, прирівнюємо приватні похідні до нуля.

Отримаємо:

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \varepsilon} = 2,198\varepsilon + 0,091\delta + 0,007t - 4,458 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \delta} = 0,007\varepsilon - 0,002\delta + 0,183 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial t} = 0,091\varepsilon - 10,984t + 13,582 = 0$$

Розкодований центр оптимуму має наступні значення:

$$\varepsilon = 2,09; \delta = 1,5 \text{ мм}; t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

Максимальне значення функції: $- Y(\mu) = 0,368$.

Розглянемо можливі двомірні перетини, що мають найбільш практичне значення при фіксації одного з факторів.

1) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , °С.

При $\varepsilon = 1,94$ ($x_1 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = -5,492\delta^2 - 0,001t^2 + 13,758\delta + 0,1966t - 17,655. \quad (\text{Б.6})$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.4.

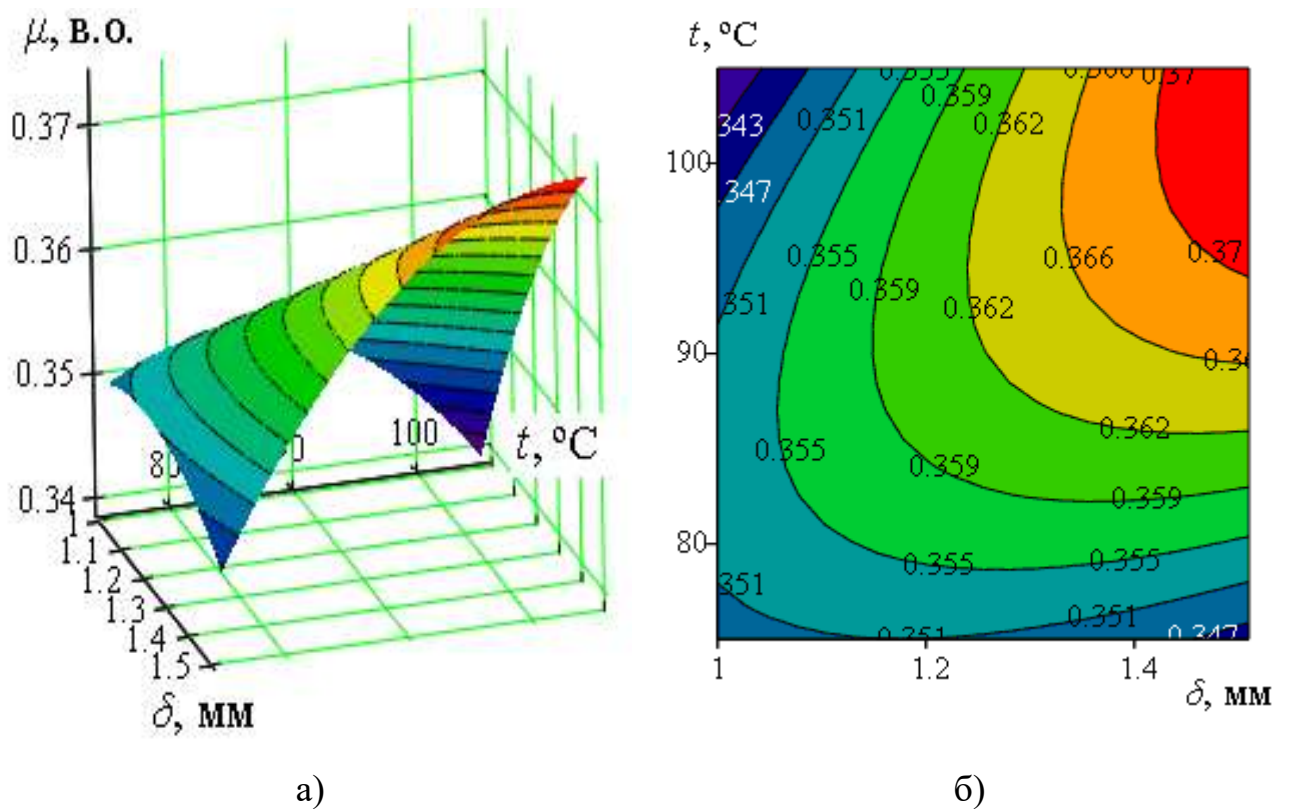


Рисунок Б.4 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , °С

2) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , °С.

При $\delta = 1,25$ мм ($x_2 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 1,099\varepsilon^2 - 0,001t^2 + 0,007\varepsilon \cdot t - 4,344\varepsilon + 0,183t - 4,746 \quad (\text{Б.7})$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.5.

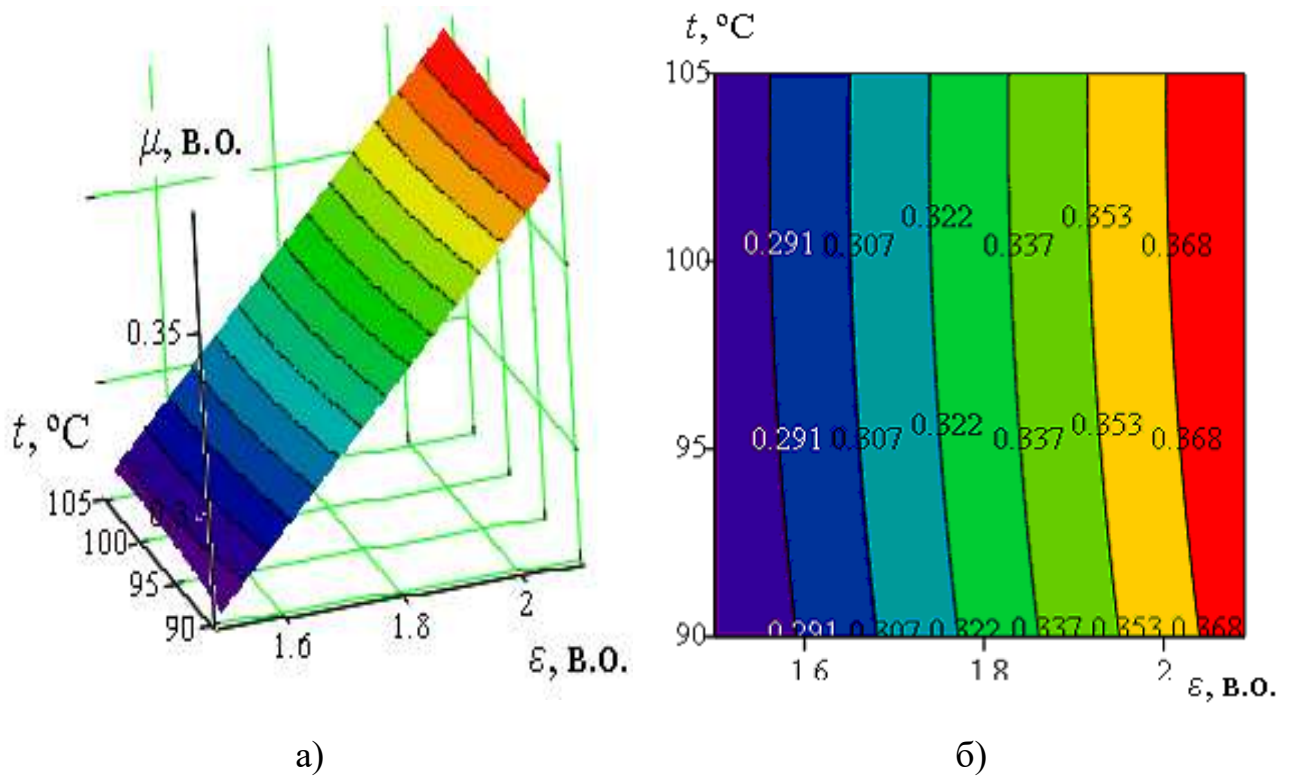


Рисунок Б.5 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , °С.

3) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

При $t = 90$ °С ($x_3 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 1,099\varepsilon^2 - 5,492\delta^2 - 3,828\varepsilon + 13,582\delta - 4,773. \quad (\text{Б.8})$$

Графіки та лінії рівня представлені на рис. Б.6.

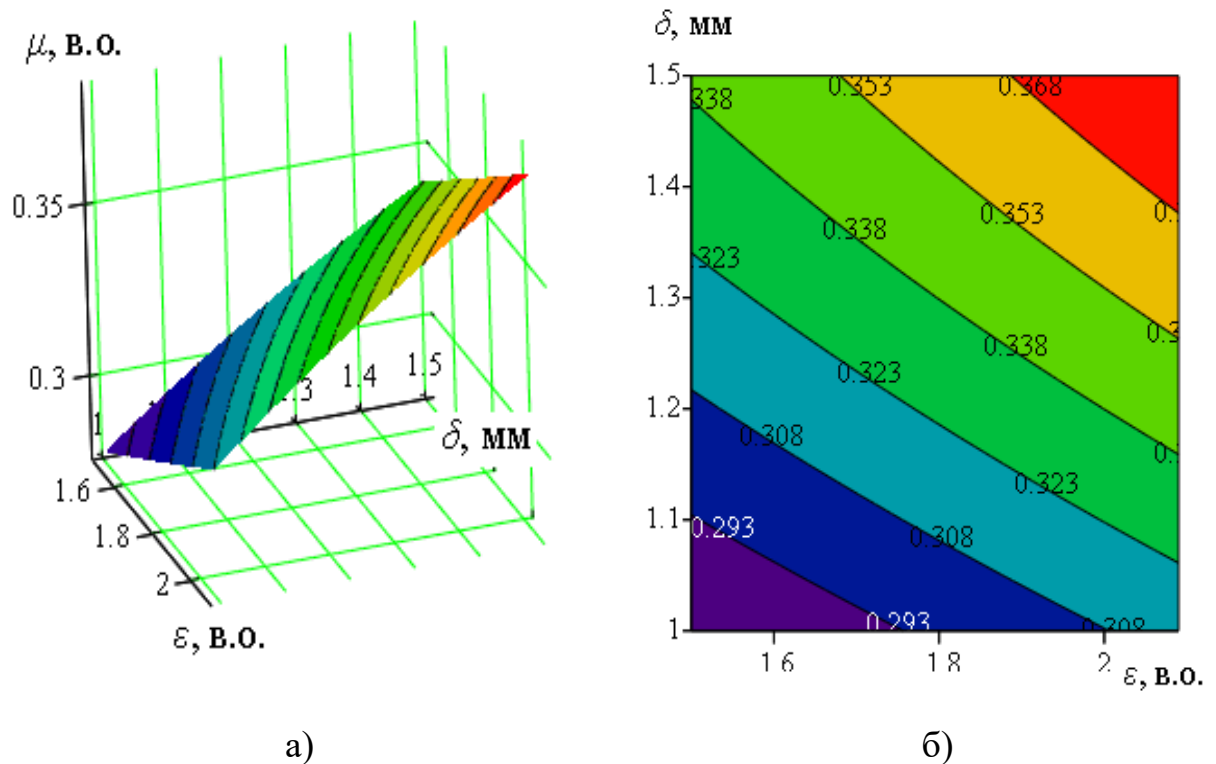


Рисунок Б.6 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм

На основі вирішених систем рівнянь з приватними похідними, отримані точки оптимуму: значення ступеню стиснення $\varepsilon = 2,09$; зазор в зерних планках $\delta = 1,5$ мм; температура мезги $t = 105$.

Розрахунки для четвертого пресувального витка є наступними.

Модель другого порядку для розрахунку відносної маси олії в залежності від конструктивно-технологічних факторів на четвертому пресувальному витку має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,013\varepsilon^2 + 6,998\delta^2 + 0,001t^2 + 0,00001t \cdot \delta + 0,000001\varepsilon \cdot t - 0,071\varepsilon - 17,358\delta - 0,093t + 9,666, \quad (\text{Б.9})$$

Коефіцієнт b_{12} за критерієм Стюдента незначущий, тому в моделі не присутній. Отримана нелінійна модель адекватна дослідним даним, так як $F_p = 0,988 < F_k = 2,092$.

Визначимо точку оптимуму для канонічного рівняння урівнення (Б.9).
Для визначення стаціонарної точки, прирівнюємо приватні похідні до нуля.

Отримаємо:

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \varepsilon} = 0,026\varepsilon + 0,00001t - 0,007 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \delta} = 13,996\delta - 17,358 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial t} = 0,00001\varepsilon + 0,002t - 0,093 = 0$$

Розкодований центр оптимуму має наступні значення:

$$\varepsilon = 4,67; \delta = 1,5 \text{ мм}; t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

Максимальне значення функції: - $Y(\mu) = 0,409$.

Розглянемо можливі двомірні перетини, що мають найбільш практичне значення при фіксації одного з факторів.

1) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , $^\circ\text{C}$.

При $\varepsilon = 3,67$ ($x_1 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 6,998\delta^2 + 0,001t^2 - 17,358\delta - 0,093t + 9,398. \quad (\text{Б.10})$$

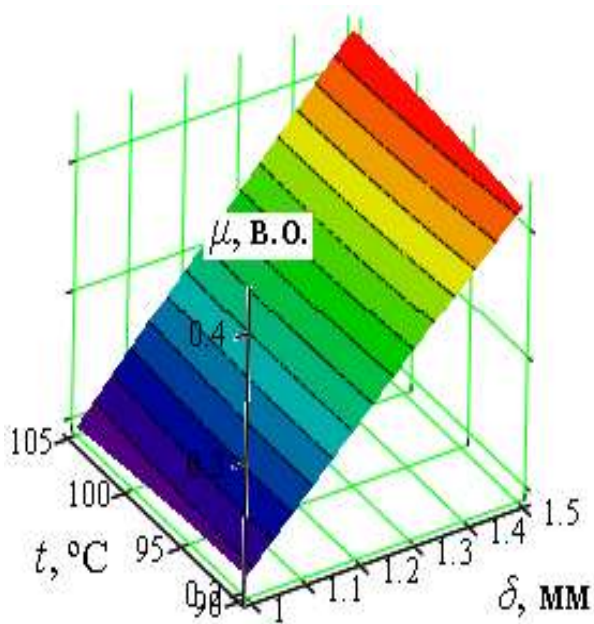
Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.7.

2) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , $^\circ\text{C}$.

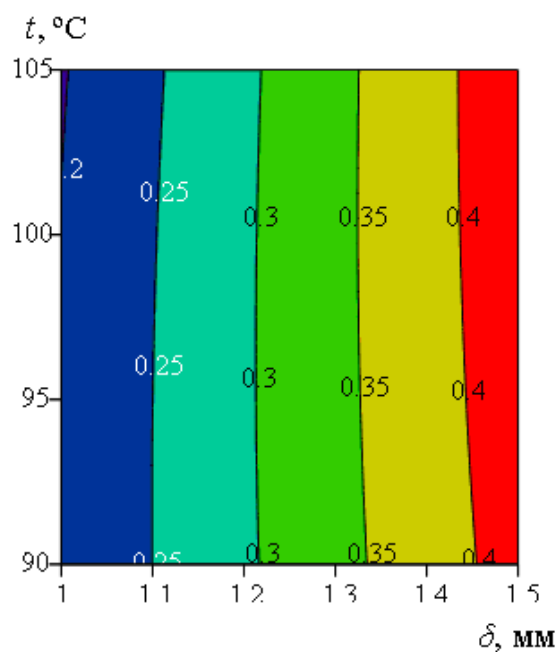
При $\delta = 1,25$ мм ($x_2 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,013\varepsilon^2 + 0,001t^2 + 0,0001\varepsilon \cdot t - 0,071\varepsilon - 0,093t - 1,279. \quad (\text{Б.11})$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.8.

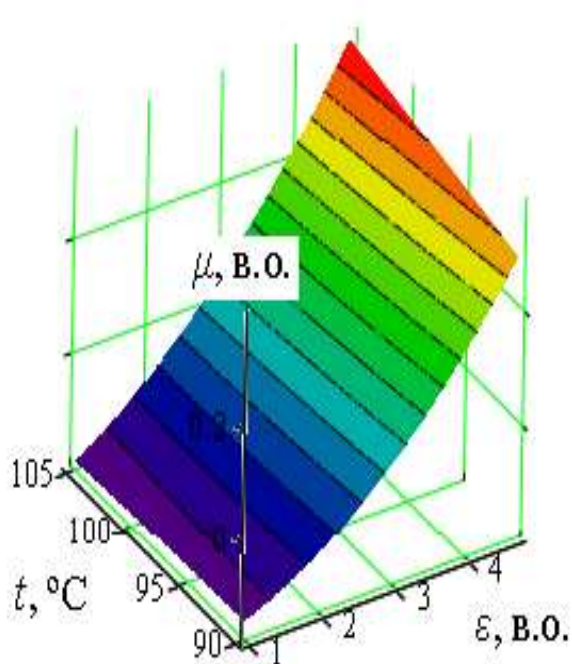


а)

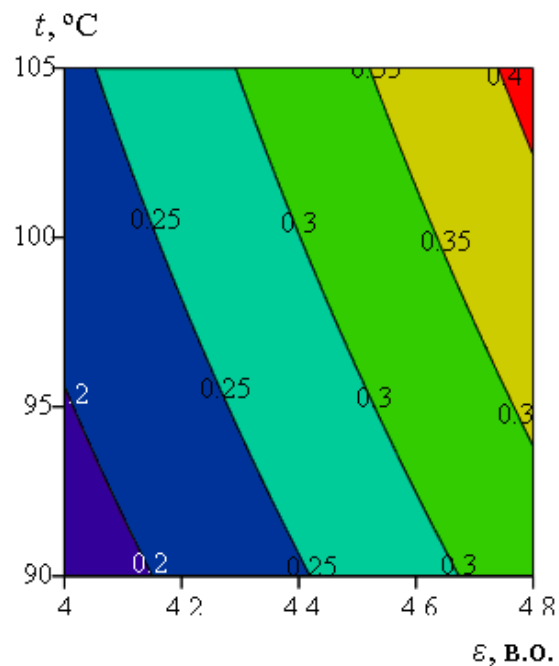


б)

Рисунок Б.7 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , °С



а)



б)

Рисунок Б.8 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , °С.

3) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

При $t = 90$ °C ($x_3 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,013\varepsilon^2 + 6,998\delta^2 - 0,0701\varepsilon - 17,358\delta + 9,214. \quad (\text{Б.12})$$

Графіки та лінії рівня представлені на рис. Б.9.

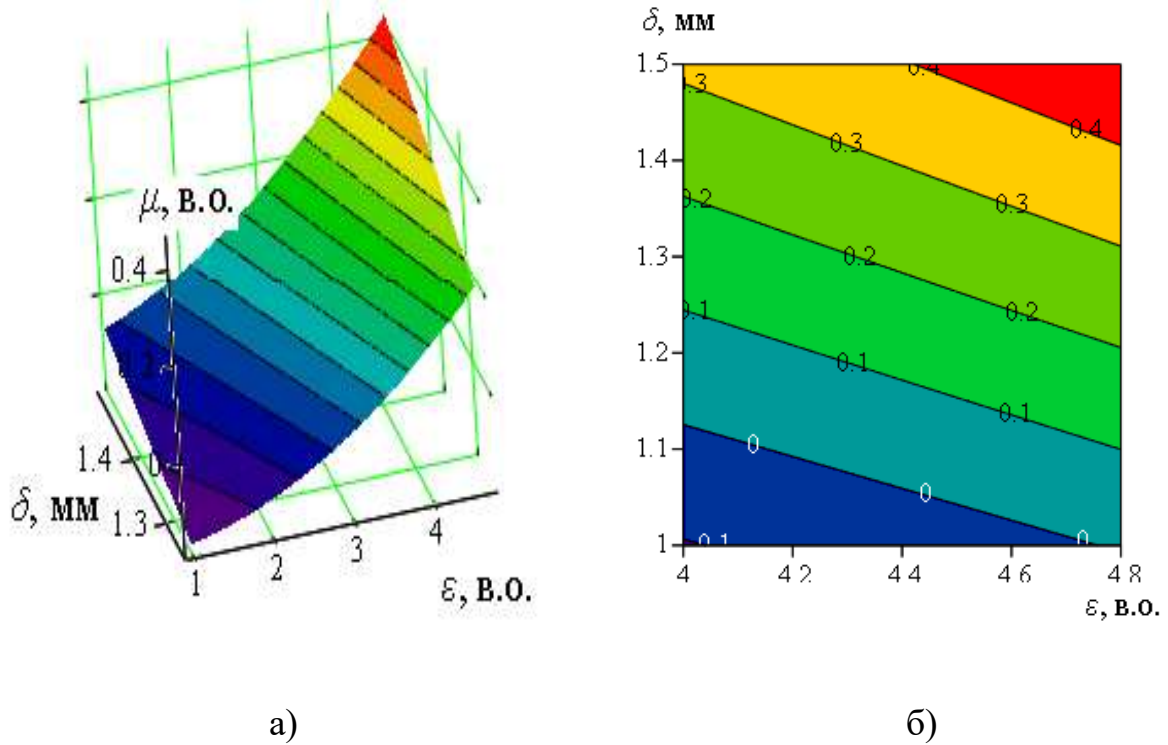


Рисунок Б.9 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм

На основі вирішених систем рівнянь з приватними похідними, отримані точки оптимуму: значення ступеню стиснення $\varepsilon = 4,67$; зазор в зерних планках $\delta = 1,5$ мм; температура мезги $t = 105$.

Розрахунки для п'ятого пресувального витка є наступними.

Модель другого порядку для розрахунку відносної маси олії в залежності від конструктивно-технологічних факторів на п'ятому пресувальному витку має вигляд:

$$Y(\mu) = -0,566\varepsilon^2 + 3,287\delta^2 + 0,000001t^2 + 5,559\varepsilon - 8,125\delta + 0,001t - 8,364, \quad (\text{Б.13})$$

Коефіцієнт b_{12}, b_{13}, b_{23} за критерієм Стьюдента незначущі, тому в моделі не присутні. Отримана нелінійна модель адекватна дослідним даним, так як $F_p = 1,014 < F_k = 2,092$.

Визначимо точку оптимуму для канонічного рівняння (Б.13). Для визначення стаціонарної точки, прирівнюємо приватні похідні до нуля.

Отримаємо:

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \varepsilon} = -1,132\varepsilon + 5,559 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \delta} = 6,574\delta - 8,125 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial t} = 0,000002t + 0,001 = 0$$

Розкодований центр оптимуму має наступні значення:

$$\varepsilon = 5,35; \delta = 1,0 \text{ мм}; t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

Максимальне значення функції: $- Y(\mu) = 0,454$.

Розглянемо можливі двомірні перетини, що мають найбільш практичне значення при фіксації одного з факторів.

1) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує зазор у зеєрних планках δ , мм і температуру мезги t , $^\circ\text{C}$.

При $\varepsilon = 4,85$ ($x_1 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 6,998\delta^2 + 0,001t^2 - 17,358\delta - 0,093t + 9,398. \quad (\text{Б.14})$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.10.

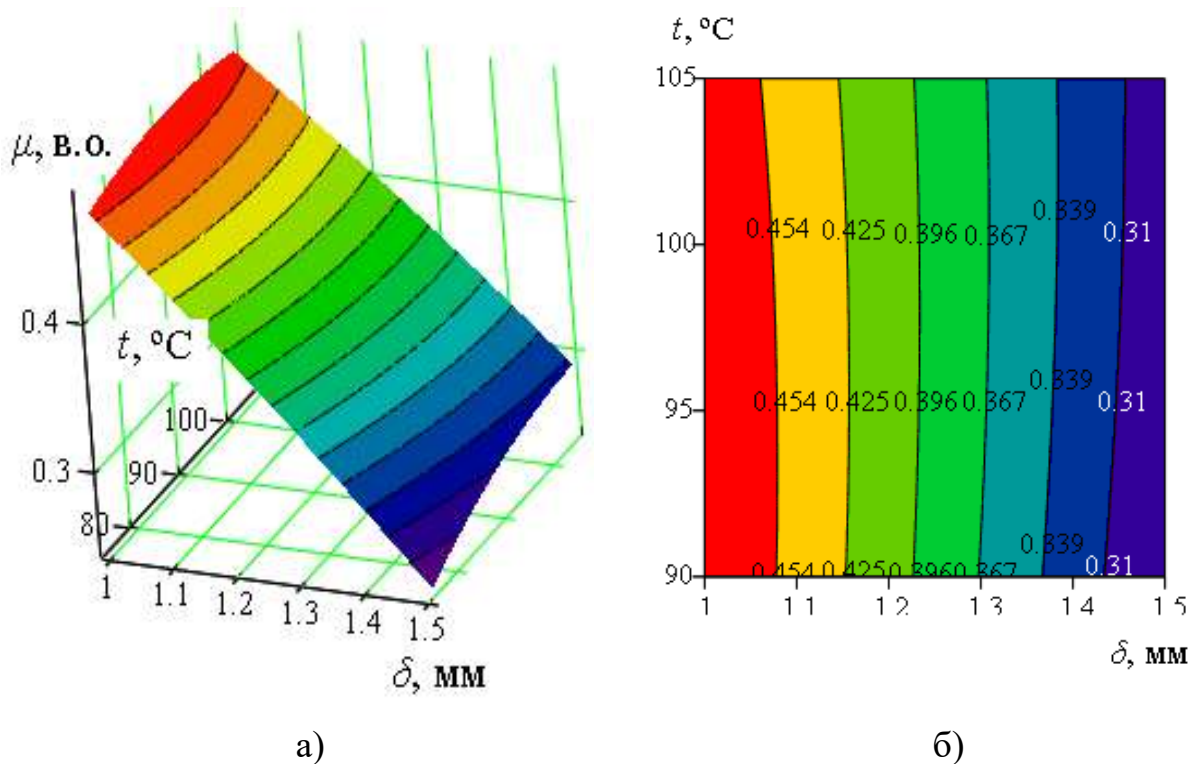


Рисунок Б.10 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , °С

2) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , °С.

При $\delta = 1,25$ мм ($x_2 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = -0,566\varepsilon^2 + 0,000001t^2 + 0,0001\varepsilon \cdot t + 5,559\varepsilon + 0,001t - 13,384 \quad (\text{Б.15})$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.11.

3) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

При $t = 90$ °С ($x_3 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = -0,566\varepsilon^2 + 3,287\delta^2 + 5,559\varepsilon - 8,125\delta - 8,265 \quad (\text{Б.16})$$

Графіки та лінії рівня представлені на рис. Б.12.

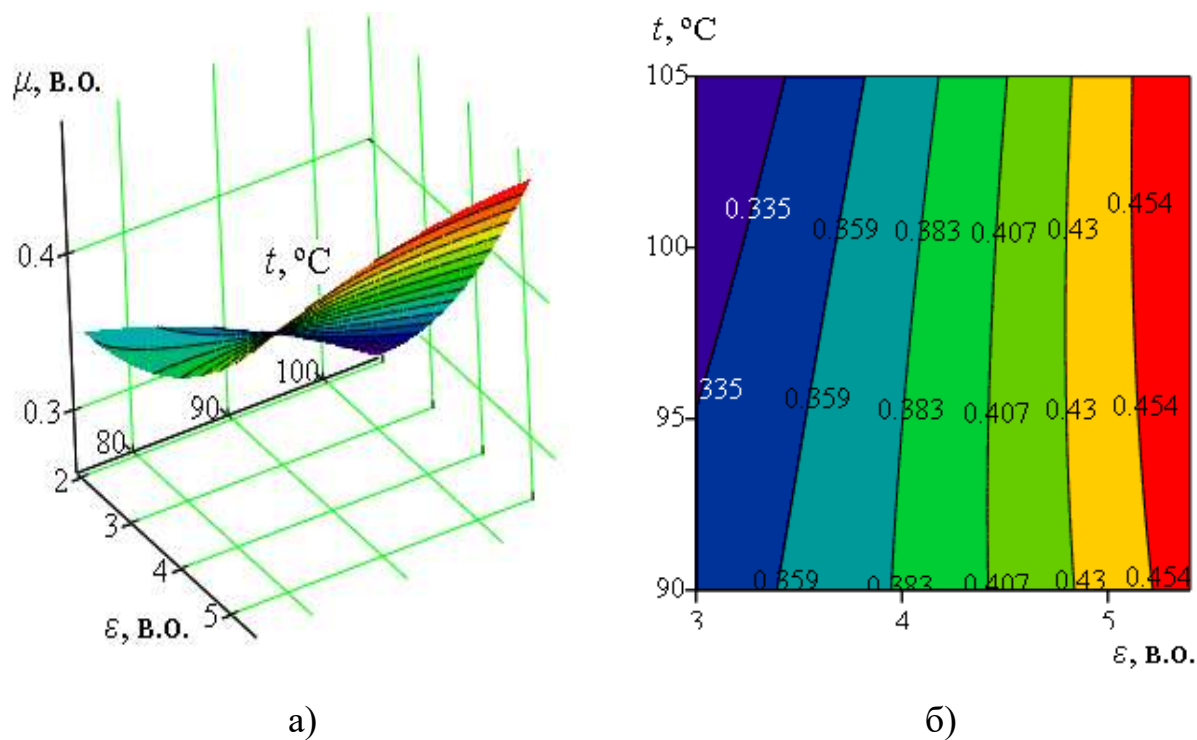


Рисунок Б.11 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , $^{\circ}\text{C}$.

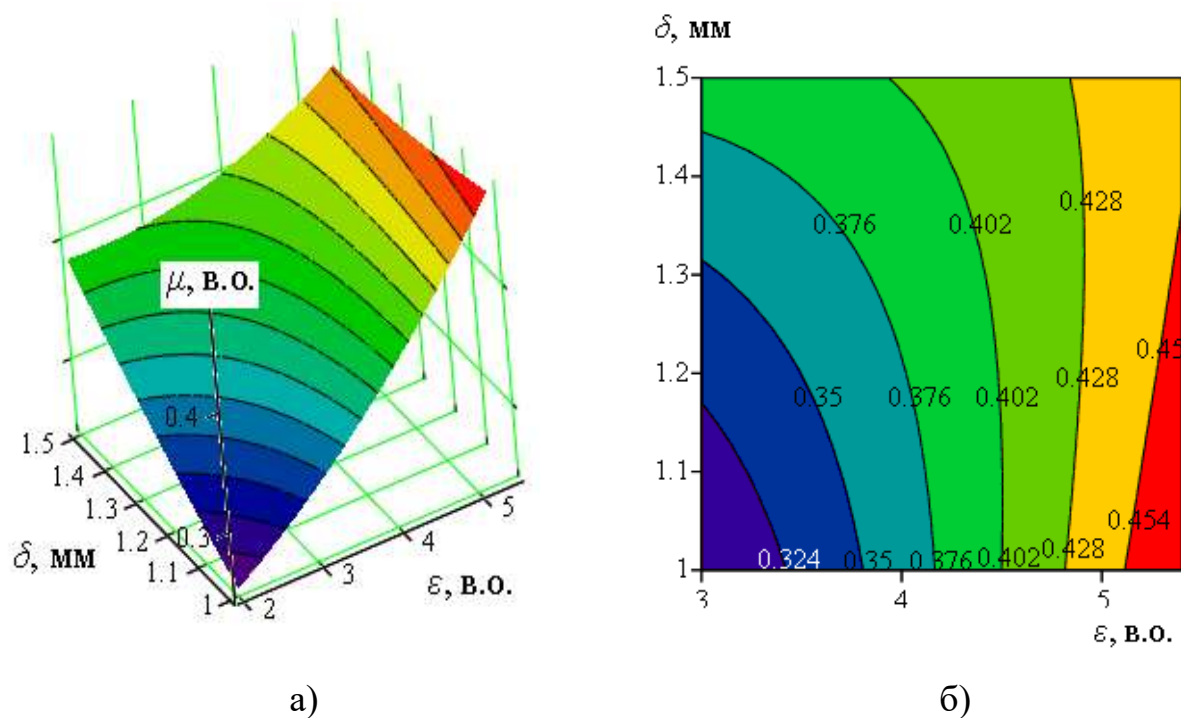


Рисунок Б.12 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

На основі вирішених систем рівнянь з приватними похідними, отримані точки оптимуму: значення ступеню стиснення $\varepsilon = 5,35$; зазор в зеєрних планках $\delta = 1,0$ мм; температура мезги $t = 105$.

Розрахунки для шостого пресувального витка є наступними.

Модель другого порядку для розрахунку відносної маси олії в залежності від конструктивно-технологічних факторів на шостому пресувальному витку має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,038\varepsilon^2 - 1,796\delta^2 + 0,002t^2 - 0,002t \cdot \delta - 0,415\varepsilon + 4,639\delta - 0,288t + 7,123 \quad (\text{Б.17})$$

Коефіцієнт b_{12}, b_{13} за критерієм Стюдента незначущі, тому в моделі не присутні. Отримана нелінійна модель адекватна дослідним даним, так як $F_p = 1,457 < F_k = 2,092$.

Визначимо точку оптимуму для канонічного рівняння (Б.17). Для визначення стаціонарної точки, прирівнюємо приватні похідні до нуля.

Отримаємо:

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \varepsilon} = 0,078\varepsilon - 0,415 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \delta} = -3,592\delta - 0,002t + 4,639 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial t} = -0,002\delta + 0,004t - 0,288 = 0$$

Розкодований центр оптимуму має наступні значення:

$$\varepsilon = 6,21; \delta = 1,0 \text{ мм}; t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

Максимальне значення функції: $- Y(\mu) = 0,47$.

Розглянемо можливі двомірні перетини, що мають найбільш практичне значення при фіксації одного з факторів.

1) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує зазор у зеєрних планках δ , мм і температуру мезги t , $^\circ\text{C}$.

При $\varepsilon = 5,71$ ($x_1 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = -1,796\delta^2 + 0,002t^2 - 0,002g \cdot t - 0,288t + 4,639g + 5,992. \quad (\text{Б.18})$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.13.

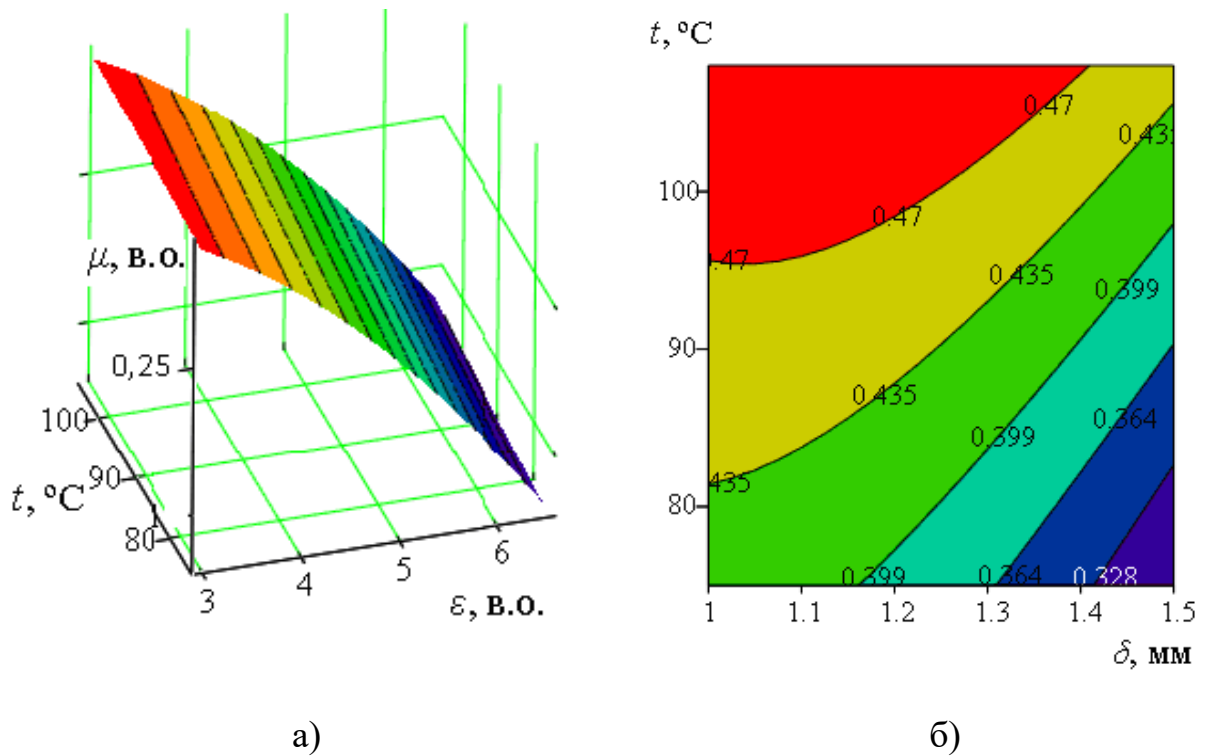


Рисунок Б.13 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , °С

2) Двовірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , °С.

При $\delta = 1,25$ мм ($x_2 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,038\varepsilon^2 + 0,002t^2 - 0,415\varepsilon - 0,0291t + 10,115. \quad (\text{Б.19})$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.14.

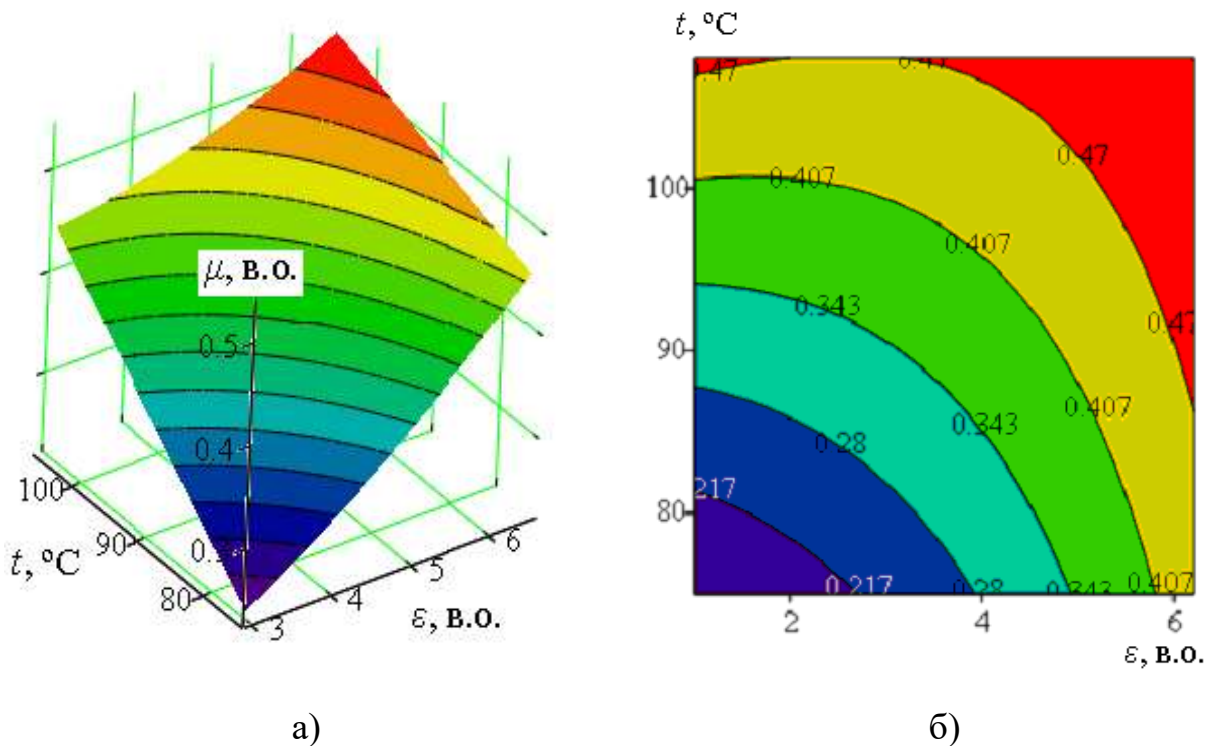


Рисунок Б.14 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , °С.

3) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

При $t = 90$ °С ($x_3 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,038\varepsilon^2 - 1,796\delta^2 - 0,415\varepsilon + 4,459\delta - 2,597. \quad (\text{Б.20})$$

Графіки та лінії рівня представлені на рис. Б.15.

На основі вирішених систем рівнянь з приватними похідними, отримані точки оптимуму: значення ступеню стиснення $\varepsilon = 6,21$; зазор в зерних планках $\delta = 1,0$ мм; температура мезги $t = 105$.

Розрахунки для сьомого пресувального витка є наступними.

Модель другого порядку для розрахунку відносної маси олії в залежності від конструктивно-технологічних факторів на сьомому пресувальному витку має вигляд:

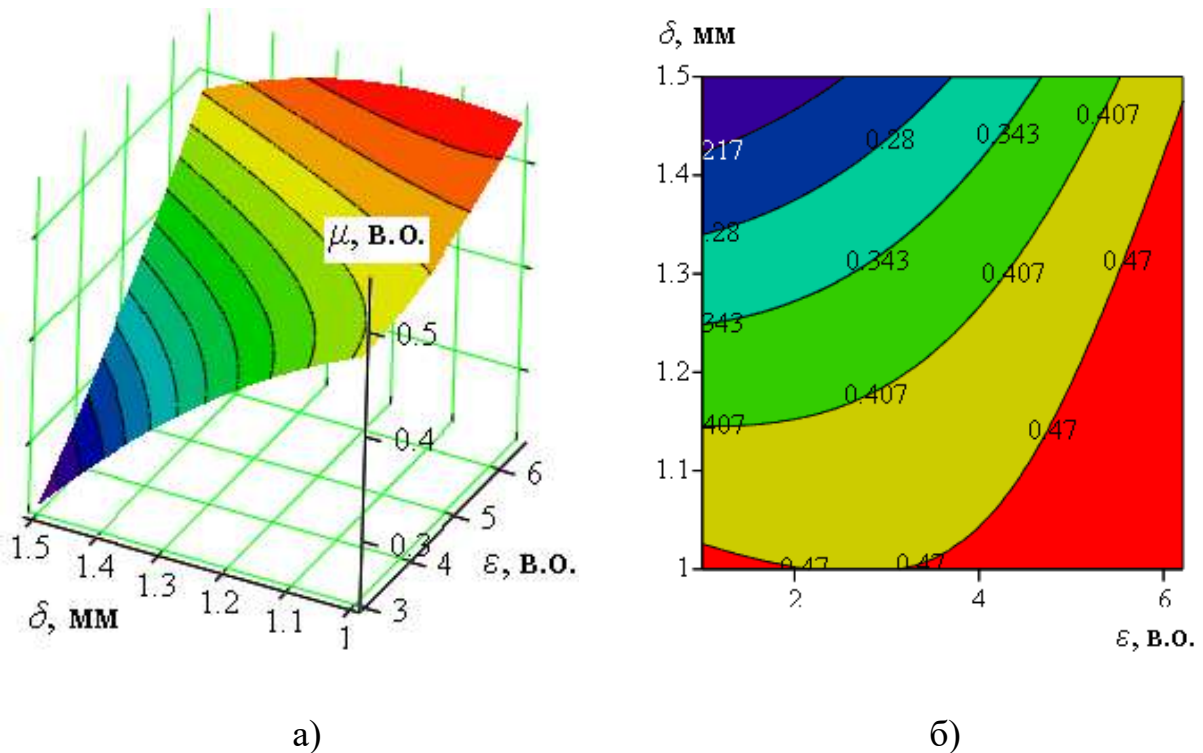


Рисунок Б.15 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

$$Y(\mu) = 0,149\varepsilon^2 - 6,766\delta^2 + 0,001t^2 - 0,002t \cdot \delta - 1,981\varepsilon + 18,091\delta - 0,105t - 4,103 \quad (\text{Б.21})$$

Коефіцієнт b_{12}, b_{13} за критерієм Стюдента незначущі, тому в моделі не присутні. Отримана нелінійна модель адекватна дослідним даним, так як $F_p = 1,879 < F_k = 2,092$.

Визначимо точку оптимуму для канонічного рівняння уравнения (Б.21). Для визначення стаціонарної точки, прирівнюємо приватні похідні до нуля.

Отримаємо:

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \varepsilon} = 0,298\varepsilon - 1,981 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \delta} = -3,592\delta - 0,002t + 4,639 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial t} = -0,002\delta + 0,004t - 0,288 = 0$$

Розкодований центр оптимуму має наступні значення:

$$\varepsilon = 7,29; \delta = 1,0 \text{ мм}; t = 105^\circ \text{C}$$

Максимальне значення функції: - $Y(\mu) = 0,489$.

Розглянемо можливі двомірні перетини, що мають найбільш практичне значення при фіксації одного з факторів.

1) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , °С.

При $\varepsilon = 5,79$ ($x_1 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = -6,766\delta^2 + 0,001t^2 - 0,002g \cdot t - 0,105t + 18,091g - 10,684. \quad (\text{Б.22})$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.16.

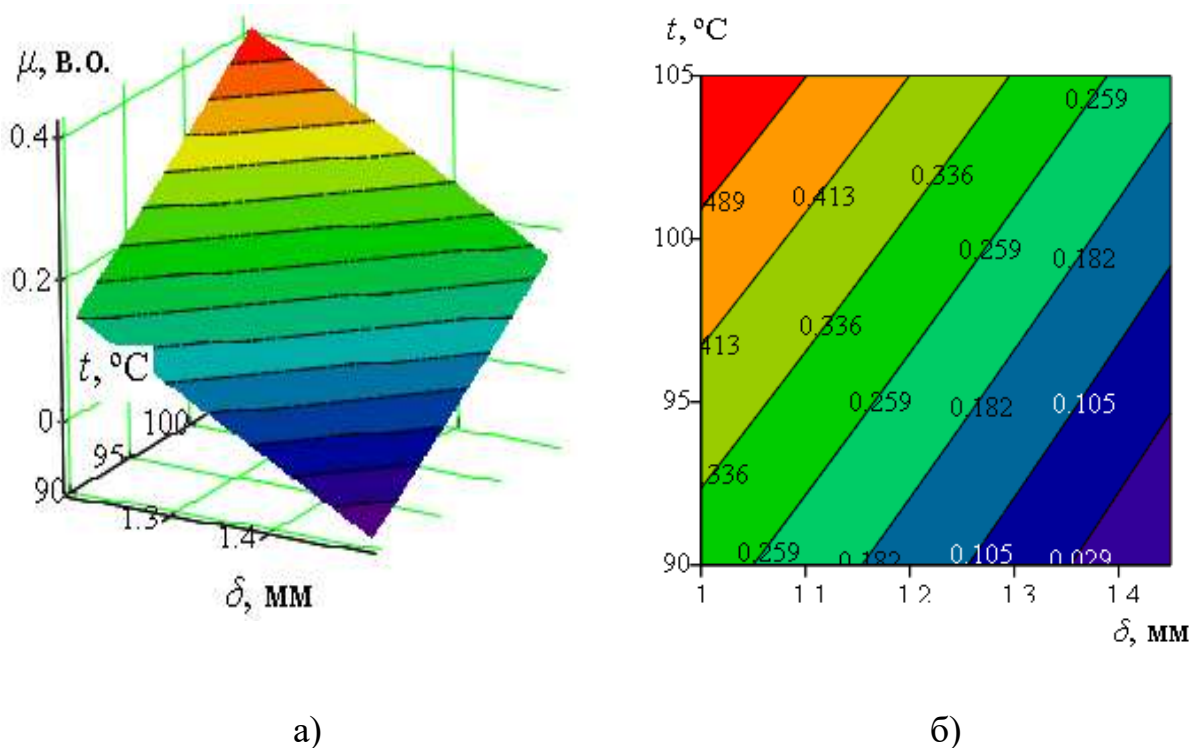


Рисунок Б.16 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , °С

2) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , °С.

При $\delta = 1,25$ мм ($x_2 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,149\varepsilon^2 + 0,001t^2 - 1,981\varepsilon - 0,1075t + 7,938. \quad (\text{Б.23})$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.17.

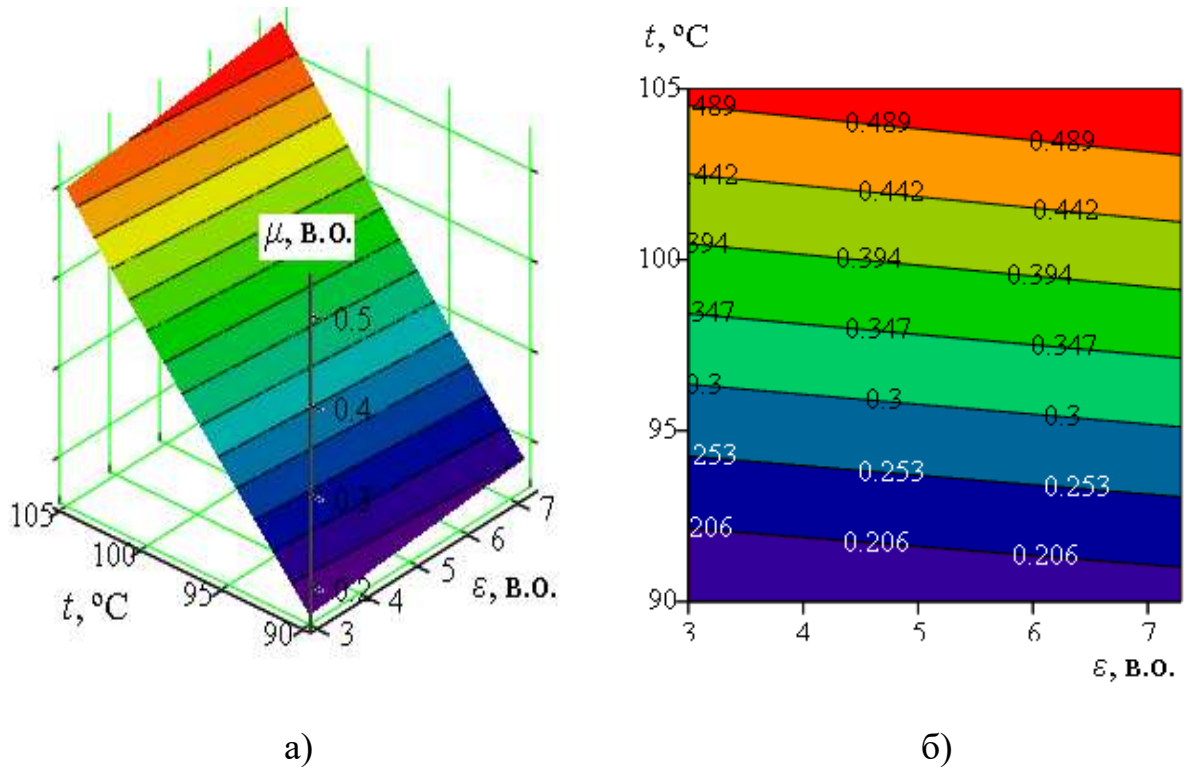


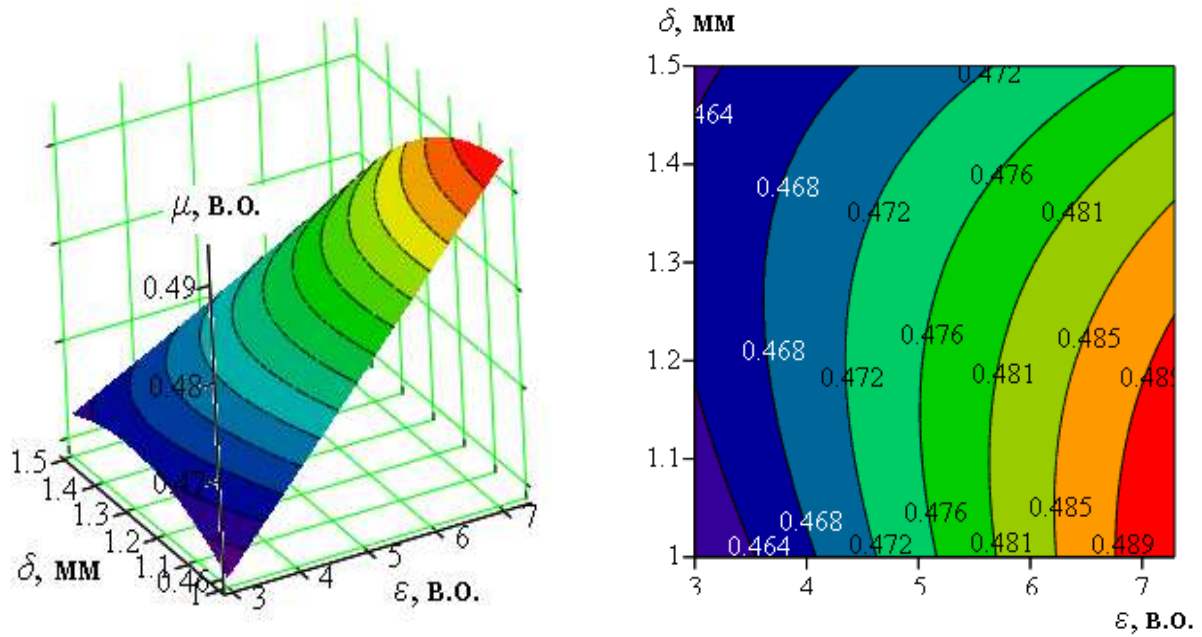
Рисунок Б.17 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , °С.

3) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

При $t = 90$ °С ($x_3 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,149\varepsilon^2 - 6,766\delta^2 - 1,981\varepsilon + 17,911\delta - 5,45. \quad (\text{Б.24})$$

Графіки та лінії рівня представлені на рис. Б.18.



а)

б)

Рисунок Б.18 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

На основі вирішених систем рівнянь з приватними похідними, отримані точки оптимуму: значення ступеню стиснення $\varepsilon = 7,29$; зазор в зерних планках $\delta = 1,0$ мм; температура мезги $t = 105$.

Розрахунки для восьмого пресувального витка є наступними.

Модель другого порядку для розрахунку відносної маси олії в залежності від конструктивно-технологічних факторів на восьмому пресувальному витку має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,019\varepsilon^2 - 0,821\delta^2 + 0,002t^2 - 0,001\varepsilon \cdot \delta - 0,002\delta \cdot t - 0,298\varepsilon + 2,169\delta - 0,288t + 8,686 \quad (Б.25)$$

Для моделі, що отримана, за критерієм Стюдента всі коефіцієнти значущі, Модель адекватна дослідним даним та може бути використана для прогнозування.

Визначимо точку оптимуму для канонічного рівняння урвнення (Б.25).
Для визначення стаціонарної точки, прирівнюємо приватні похідні до нуля.

Отримаємо:

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \varepsilon} = 0,038\varepsilon - 0,001\delta - 0,00001t - 0,298 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial \delta} = -3,592\delta - 0,002t + 4,639 = 0$$

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial t} = -0,002\delta + 0,004t - 0,288 = 0$$

Розкодований центр оптимуму має наступні значення:

$$\varepsilon = 9,29; \delta = 1,0 \text{ мм}; t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

Максимальне значення функції: - $Y(\mu) = 0,496$.

Розглянемо можливі двомірні перетини, що мають найбільш практичне значення при фіксації одного з факторів.

1) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує зазор у зеєрних планках δ , мм і температуру мезги t , $^\circ\text{C}$.

При $\varepsilon = 8,79$ ($x_1 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = -0,8218\delta^2 + 0,002t^2 - 0,002\delta \cdot t - 0,288t + 2,1602\delta + 7,535. \quad (\text{Б.26})$$

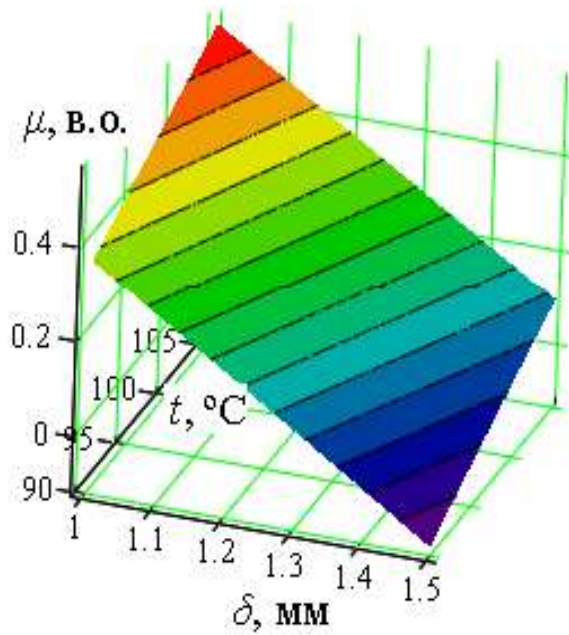
Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.19.

2) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , $^\circ\text{C}$.

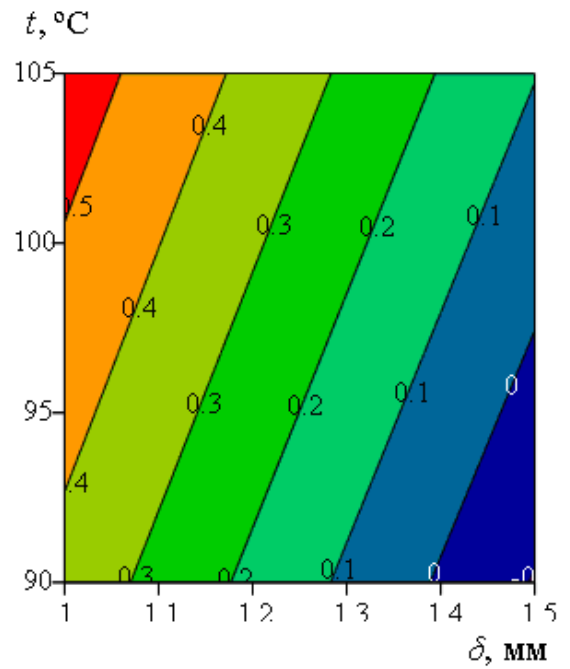
При $\delta = 1,25$ мм ($x_2 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,019\varepsilon^2 + 0,002t^2 - 0,299\varepsilon - 0,2905t + 10,113. \quad (\text{Б.27})$$

Графіки та лінії рівня представлені рис. Б.20.

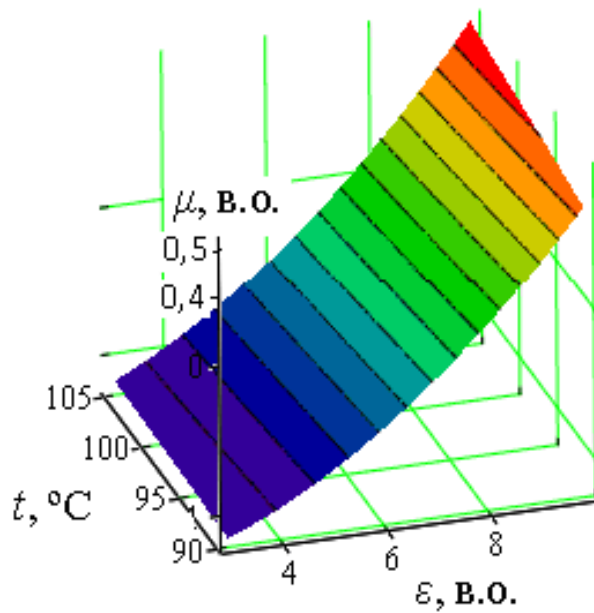


а)

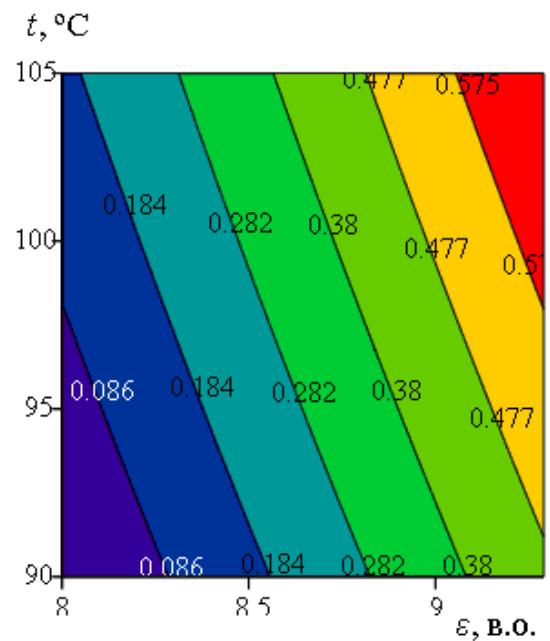


б)

Рисунок Б.19 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують зазор у зерних планках δ , мм і температуру мезги t , °С



а)



б)

Рисунок Б.20 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та температуру мезги t , °С.

3) Двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

При $t = 90$ °С ($x_3 = 0$) рівняння має вигляд:

$$Y(\mu) = 0,019\varepsilon^2 - 0,822\delta^2 - 0,001\varepsilon \cdot \delta - 0,298\varepsilon + 1,989\delta - 1,034. \quad (\text{Б.28})$$

Графіки та лінії рівня представлені на рис. Б.20.

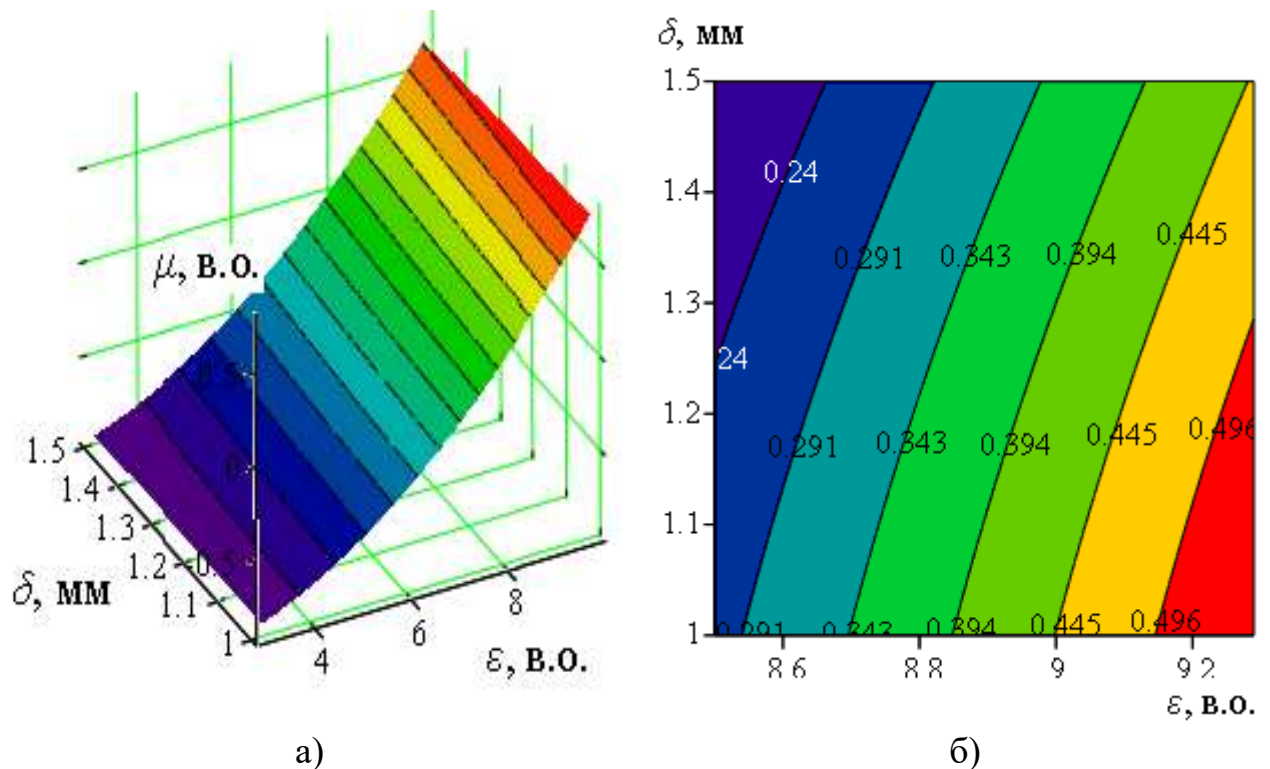


Рисунок Б.20 – Поверхня (а) і лінії рівнів (б) функції відгуку, що характеризують значення ступеню стиснення ε , в.о. та зазор у зерних планках δ , мм.

На основі вирішених систем рівнянь з приватними похідними, отримані точки оптимуму: значення ступеню стиснення $\varepsilon = 9,29$; зазор в зерних планках $\delta = 1,0$ мм; температура мезги $t = 105$.

Додаток В

Акти впровадження результатів дослідження

ЗАТВЕРДЖУЮ Професор, ІП ТДАТУ проф. Оксана ЄРЕМЕНКО  «02» березня 2021 р.	ЗАТВЕРДЖУЮ Директор ТОВ «СПП ЛАНА» Аліна ТАМАРКОВА  «02» березня 2021 р.
--	--

АКТ

про впровадження результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських та технологічних робіт

Ми, що підписалися нижче, представники Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (ТДАТУ): Надикто В.Т. – д.т.н., професор кафедри машиновикористання в землеробстві Верещага О.Л. – здобувач та представники ТОВ «СПП ЛАНА»: Тамаркова А.Л. – директор ТОВ «СПП ЛАНА», Зейда І.А. – заступник директора з виробництва ТОВ «СПП ЛАНА», Шепель Є.В. – головний механік ТОВ «СПП ЛАНА» склали цей акт про те, що результати науково-дослідної роботи на 2016–2020 рр. ТДАТУ (номер державної реєстрації 0116U004694) «Наукові основи глибокої переробки насіння рицини на олію та високобілкові корми» передані у вигляді наукового звіту до ТОВ «СПП ЛАНА» з метою їх використання при розробці нових шнекових пресів для віджимання касторової олії із мезги насіння рицини.

Вид впроваджених результатів: проект технічного рішення щодо удосконаленої технологічної схеми пристрою для пресування мезги насіння рицини, який забезпечить необхідну ефективність віджимання олії із мезги насіння рицини.

Форма впроваджених результатів: методика визначення критеріїв ефективності, які впливають на якість процесу пресування; закон стиснення мезги насіння рицини, що забезпечує визначення конструктивних параметрів шнекових пресів різної продуктивності при пресуванні мезги насіння рицини.

Новизна науково-дослідницької роботи: за рахунок оптимізації конструктивно-технологічних параметрів шнекових пресів, що використовуються для пресування мезги насіння ріпчини, показник олійності макухи ріпчини вдалося зменшити не менше ніж на 3,1%.

Економічний ефект досягається за рахунок вилучення більшої кількості олії з мезги насіння ріпчини після першого пресування у шнекових пресах.

Висновок ТОВ «СПП ЛАНА»: в результаті випробувань пресу для пресування мезги насіння ріпчини встановлено, що ефективність пресування касторової олії із мезги насіння ріпчини за рахунок використання шнекового пресу із конструктивно-технологічними параметрами, що запропоновано у науковому звіті збільшується на 5-10%. Це дає можливість додатково отримати 5-10 кг касторової олії на кожні 100 кг олії.

Представники ТДАТУ:

Директор науково-дослідного
інституту механізації землеробства

півдня України

проф.  Володимир НАДИКТО

Здобувач

 Олексій ВЕРЕЩАГА

Представники ТОВ «СПП ЛАНА:

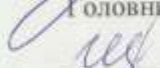
Директор

 Аліна ТАМАРКОВА

Заступник директора з виробництва

 Іван ЗЕЙДА

Головний механік

 Євгеній ШЕПЕЛЬ



АКТ
впровадження наукового матеріалу у
навчальний процес Таврійського державного агротехнологічного
університету імені Дмитра Моторного

Комісія у складі: к.т.н, професора, в.о. завідувача кафедри «Технічний сервіс та системи в АПК» Скляра О.Г., д.т.н., професора, декана механіко-технологічного факультету Кюрчева С.В., д.т.н., професора, професора кафедри «Технічний сервіс та системи в АПК» Журавля Д.П. склала цей акт про те, що дисертаційна робота на тему: «Обґрунтування технологічних режимів і конструктивних параметрів шнекових пресів для віджиму олії із насіння ріцини» аспіранта Верещаги Олексія Леонідовича, а саме методика визначення тиску на пресувальному витку шнекових пресів та оптимізація параметрів пресування мезги насіння ріцини у шнекових пресах було впроваджено у навчальний процес кафедри технічного сервісу та систем в АПК Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного, зокрема під час розробки та викладання навчальних дисциплін «Гідравліка та гідроприводи», «Машини, обладнання та їх використання в тваринництві» та «Технології наукових досліджень в технічному сервісі».

Голова комісії:
к.т.н., професор

Олександр СКЛЯР

Члени комісії:
д.т.н., професор
д.т.н., професор

Сергій КЮРЧЕВ

Дмитро ЖУРАВЕЛЬ

Додаток Г

Патент України на корисну модель



(19) **UA** (11) **141085** (13) **U**
 (51) МПК
B30B 9/02 (2006.01)
C11B 1/04 (2006.01)

(12)

(21) Номер заявки: **u 2019 08199**
 (22) Дата подання заявки: **15.07.2019**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.03.2020**
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту:

(72) Винахідник(и):

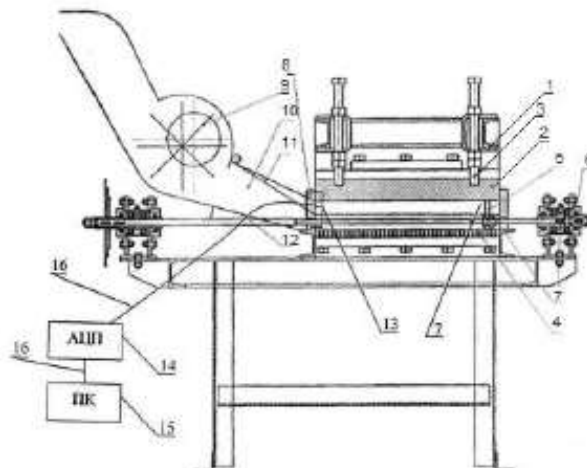
(73) Власник(и):

пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь,
 Запорізька обл., 72310 (UA)

(54)

(57) Реферат:

Пристрій для пресування мезги олійних культур містить зерну камеру, яка виконана у формі розгорнутого каналу і закріплена на нерухомій плиті, та систему зливу олії. Встановлено тензовимірвальний елемент, закріплений на змінній вставці камери, що складається з тензобалки, на якій закріплені чотири тензорезистори, що з'єднані за мостовою схемою та сполучаються з аналого-цифровим перетворювачем, сигнал від якого зчитується на персональному комп'ютері через програмне забезпечення.



Фіг. 1

UA 141085 U

UA 141085 U

Корисна модель належить до галузі переробки сільськогосподарської продукції, а саме переробки насіння олійних культур на рослину олію і макуху.

Найближчим аналогом корисної моделі є пристрій для дослідження процесу відділення олії із насіння олійних культур методом пресування [патент України № 118672, МПК В30В 9/02, С11В 1/04 опубл. 28.08.2017, бюл. № 16], що містить зеерну камеру, закріплену на нерухомій плиті, та систему зливу олії. Зеерна камера виконана у формі розгорнутого каналу одного шнека шнекового преса, причому висота каналу регулюється за рахунок переміщення даху каналу й має змінні по висоті поршні, що приводяться до руху гвинтовим механізмом, який містить вал із трапецеїдальною різьбою та гайку, на якій кріпиться, вибраний залежно від висоти каналу, змінний поршень, а подача мезги в розгорнутий канал здійснюється ексцентриковим бітером зі своїм робочим каналом.

Недоліком найближчого аналога є те, що пристрій не дозволяє вимірювати зусилля, що створюється поршнем в зеерній камері при стисненні мезги насіння олійних культур.

В основу корисної моделі поставлена задача встановити у пристрої для пресування мезги олійних культур тензовимірювальний елемент для дослідження процесу відділення олії із насіння олійних культур та збільшити вихід олії.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої для пресування мезги олійних культур, що містить зеерну камеру, яка виконана у формі розгорнутого каналу і закріплена на нерухомій плиті, та систему зливу олії, згідно з корисною моделлю, встановлено тензовимірювальний елемент, закріплений на змінній вставці камери, що складається з тензобалки, на якій закріплені чотири тензорезистори, що з'єднані за мостовою схемою та сполучаються з аналого-цифровим перетворювачем, сигнал від якого зчитується на персональному комп'ютері через програмне забезпечення.

Тензовимірювальний елемент дозволяє досліджувати процес стиснення мезги олійних культур в зеерній камері в кожному шнеку шнекового преса залежно від зусилля, що створюється поршнем в зеерній камері, частоти обертання шнекового вала, зазорів між зеерними планками, температури зеерного каналу, режимів волого-теплової обробки мезги та виду сировини, що перероблюється, завдяки програмному забезпеченню `adctensosensor.exe` у форматі CVS, написаного на Qt (версія 5.5, статична лінковка) під ліцензією GNU General Public License.

Корисна модель пояснюється кресленнями, де:

на Фіг. 1 зображено загальний вигляд пристрою для пресування мезги олійних культур;

на Фіг. 2 зображено загальний вигляд тензовимірювального елемента.

Пристрій для пресування мезги олійних культур (Фіг. 1) складається зі станини 1, кришки 2, регулювальних болтів 3, камери 4 із набором змінних зеерних планок, вала 5 гвинтового механізму, опор 6 вала 5, змінного поршня 7, змінної вставки 8, ексцентрикового бітера 9, каналу 10 для подачі м'ятки, рухливої кришки 11, змінної вставки 12, тензовимірювального елемента 13, аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 14, персонального комп'ютера (ПК) 15 та з'єднувальних проводів 16.

Тензовимірювальний елемент (Фіг. 2) складається із тензобалки 17, що має таку ж форму, як і змінний поршень 7 (Фіг. 1), на якій розміщені чотири тензорезистори 18 (Фіг. 2), що з'єднані за мостовою схемою.

Подача мезги в розгорнутий канал здійснюється ексцентриковим бітером 9 по робочому каналу 10 ексцентрикового бітера 9 (Фіг. 1). Зверху робочий канал 10 закритий рухливою кришкою 11, а знизу - змінною вставкою 12 робочого каналу 10.

Дослідження процесів у шнековому пресі здійснюють таким чином.

У лабораторній жаровні готують мезгу для пресування в розгорнутому каналі. Знімають вставку 8 (Фіг. 1) на вході у розгорнутий канал. За допомогою регулювальних болтів 3 встановлюють робочу висоту кришки 2, рівну досліджуваному зазору у шнеку шнекового преса. Відповідно цієї висоти встановлюють положення рухливої кришки 11 каналу 10 бітера 9. Попередньо до цього встановили змінний поршень 7 по робочій висоті пристрою для пресування олійних культур. Включають привод вала 5 гвинтового механізму. Встановлений поршень 7 відводять у крайнє праве положення. Включають систему бітера 9 (Фіг. 1). Відкривають у лабораторній жаровні заслінку. Бітер набиває в розгорнутий канал мезгу. Виключають ексцентриковий бітер 9. Встановлюють вставку 8 із тензовимірювальним елементом 13 розгорнутого каналу на вході. Включають гвинтовий механізм із заздалегідь розрахованою швидкістю переміщення поршня 7 і задають ступінь стиснення через довжину переміщення, контрольовану установкою кінцевого вимикача. Відбувається стиск мезги на заданий ступінь. Контроль зусилля при стисненні здійснюється за допомогою тензовимірювального елемента 13, що розташований на змінній вставці 12, сигнал від якого

UA 141085 U

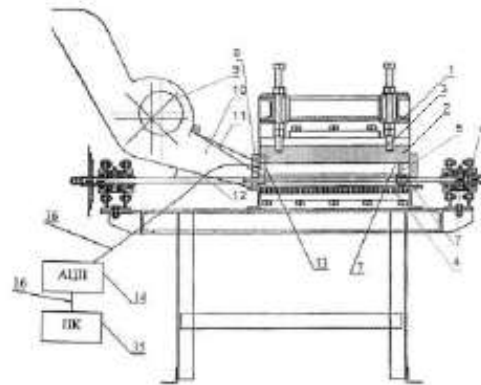
зчитується через аналого-цифровий перетворювач 14 на персональному комп'ютері 15. Олія через шар мезги й зазори змінних зерних планок стікає у напрямку, перпендикулярному стику мезги. Під розгорнутим каналом встановлюють секційну ємність на електронних вагах з автоматизованим процесом зважування.

- 5 Далі необхідно видалити з розгорнутого каналу віджату мезгу. Знімають вставку 12 каналу бітера 9, ліву вставку 8 розгорнутого каналу, включають гвинтовий механізм для переміщення поршня 7. Відпрацьована мезга поршнем 7 витискається в проріз змінної вставки 12 каналу бітера 9 (Фіг. 1) під прорізом установлюють ємність для відбору відпрацьованої мезги. Мезгу зважують.

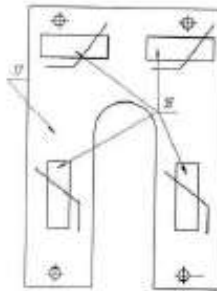
10

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 15 Пристрій для пресування мезги олійних культур, що містить зерну камеру, яка виконана у формі розгорнутого каналу і закріплена на нерухомій плиті, та систему зливу олії, який тим, що встановлено тензовимірвальний елемент, закріплений на змінній вставці камери, що складається з тензобалки, на якій закріплені чотири тензорезистори, що з'єднані за мостовою схемою та сполучаються з аналого-цифровим перетворювачем, сигнал від якого зчитується на персональному комп'ютері через програмне забезпечення.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка Г. Павльонков

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601