

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Дідур Володимир Володимирович

УДК 631.56:665.335.5

ДИСЕРТАЦІЯ

Механіко-технологічні основи глибокої переробки насіння рицини в умовах
малотоннажного підприємства

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

13 – механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

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

_____ В.В. Дідур

Науковий консультант: Кюрчев Володимир Миколайович, член-
кореспондент НААН України, доктор технічних наук, професор

Мелітополь – 2021

АНОТАЦІЯ

Дідур В.В. Механіко-технологічні основи глибокої переробки насіння рицини в умовах малотоннажного підприємства – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» (13 – механічна інженерія). – Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Мелітополь, 2021.

При дослідженні технологічних процесів переробки насіння рицини за основу були взяті три основних процеси, а саме: процес волого-теплової обробки м'ятки; процес віджиму олії із мезги в гвинтових пресах та процес очищення віджатої олії.

Особливістю процесу віджиму рослинних олій в гвинтовому пресі є безперервне зменшення пористості матеріалу.

Підвищення якісних показників рицинової олії і зниження її втрат у макусі кінцевого пресування досягалося шляхом раціональної волого-теплової обробки. Це забезпечує зниження зв'язку олії з гелевою частиною і підготовки раціонального поєднання пластичності і пружності структури і наступних режимів консолідації мезги при проходженні через витки гвинтового преса в зеєрній камері.

Процес очищення пресової олії від механічних домішок і фосфоліпідів нами представлений як процес електрофлотації попередньо гідратованої олії. Робочі гіпотези наведених процесів полягали в наступному: водяні бульбашки води, що присутні в об'ємі олії під дією електричного поля починають рухатися в міжелектродному просторі при цьому їх температура зростає. Крапля води перетворюється в газову бульбашку і переміщується на поверхню, адсорбуючи на себе фосфоліпідів та механічні домішки.

Висунуті гіпотези підтверджувались шляхом числових досліджень математичних моделей та експериментальних досліджень закономірностей впливу технологічних режимів і конструкційних параметрів обладнання на вихід олії та її

якість. Підтвердження висунутих гіпотез перевірялись експериментальним шляхом за допомогою спеціально спроектованого та виготовленого обладнання.

Таким чином, в результаті виконання теоретичних і експериментальних досліджень отримані вихідні вимоги і розроблено «Технологічний регламент» для проектування технологічної лінії, і окремого обладнання для переробки рицини в умовах малотоннажного підприємства.

Підприємства продуктивністю 30 т/добу по початковій сировині в рік перероблятимуть 9000 т насіння рицини і будуть випускати 4624 т технічної рицинової олії, 2626 т рицинової кормової високопротеїнової макухи і 700 т лушпиння, яке використовуватиметься як сухе біопаливо для виробництва технологічної пари високого тиску. Чистий річний прибуток такого заводу складе близько 22,6 млн.грн.

Ключові слова: малотоннажне підприємство, м'ятка мезги, волого-теплова обробка, тепло-масоперенос, конвективний нагрів, кондуктивний нагрів, енергія зв'язку, консолідація, фільтрація, електрофлотація, тепловий баланс, матеріальний баланс, гвинтовий прес, експелерний прес.

ABSTRACT

Didur V.V. Mechanical and technological bases of deep processing of castor seeds in the conditions of small tonnage enterprise

Dissertation for obtaining the Scientific Degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 050511 «Machines and means of mechanization of agricultural production (13n – Mechanical engineering) – Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, 2021.

During the study of technological processes of castor seed processing, three main processes were taken as a basis, namely: the process of wet-heat treatment of gritted seeds; the process of oil extraction from the pulp in screw presses and the process of cleaning of pressed oil.

Among the factors that previously were not taken into account when studying the process of wet-heat treatment of gritted seeds, the most significant are: the energy of binding the moisture to the skeleton of gritted seeds and the influence of hydrodynamics of the movement of gritted seeds in the roaster under the influence of a vane turbine located at the bottom of each vat.

Distinctive features of the process of pressing vegetable oils in a screw press, which distinguishes it from the phenomena that are considered in the classical theories of filtration and migration, is a continuous decrease in the porosity of the material.

When studying the process of extracting oil by pressing in screw presses, the following hypothesis is accepted: the process of extracting oil in screw presses can be described by general processes of movement of the pulp, like the movement of polymer in the channels of worm machines, the movement of oil using the theory of filtering currents in soils taking into account special features of the pulp, oil and conditions in the pressing cage chamber of the screw press.

The process of cleaning press oil from mechanical particles and phospholipids is presented as the process of electroflotation of prematurely hydrated oil. The working hypotheses of the above processes are as follows: the water bubbles which are present in the volume of oil under the action of an electric field begin to move in between the electrical space while their temperature increases. In this case, a drop of water turns into a gas bubble and moves to the surface, adsorbing phospholipids and mechanical impurities on it.

These hypotheses were confirmed by numerous studies of mathematical models and experimental studies of the patterns of influence of technological regimes and design parameters of equipment on the oil yield and its quality. Confirmation of the hypotheses put forward was tested experimentally with the help of specially designed and manufactured equipment.

For experimental studies of the process of cleaning the pressed oil, a laboratory complex including a hydrator and an electric flotation unit has been developed. With the help of this complex, the adequacy of the mathematical model of the dynamics of the movement of vapor-air particles under the action of an electric field was tested and a method was developed for calculating the technological regimes and design

parameters of the installation for cleaning pressed oil.

Thus, as a result of the implementation of theoretical and experimental studies, initial requirements have been obtained and a “Technological regulation” has been developed for the design of a technological line, and separate equipment for castor processing in the light-tonnage enterprise.

Enterprises with the capacity of 30 tons per day of feedstock per year will process 9000 tons of castor seeds and will produce 4624 tons of technical castor oil, 2626 tons of castor fodder high protein meal and 700 tons of husk, which will be used as dry nature-friendly fuel for the production of high-pressure process steam. The net annual profit of such an enterprise will be about 22.6 million UAH.

Key words: low-tonnage enterprise, gritted seeds, pulp, wet-heat treatment, heat and mass transfer, convective, conductive heating, binding energy, consolidation, filtration, electrical flotation, heat balance, material balance, screw press, expeller press.

Зміст

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	19
1.1. Аналіз впливу технологічних режимів волого-теплової обробки м'ятки рицини на ефективність віджиму олії	19
1.1.1. Постановка проблеми	19
1.1.2. Вплив води на процес приготування мезги	21
1.2. Фізика процесу пресування мезги в гвинтовому пресі	24
1.2.1. Рух високов'язких матеріалів по гвинтовим траєкторіям	25
1.2.2. Види тиску, що діють на робочі органи гвинтового преса	29
1.2.3. Закономірності процесів обробки мезги в гвинтовому пресі	37
1.2.4. Сили, які діють в розгорнутому каналі шнека	42
1.2.5. Математична модель процесу консолідації при виділенні олії в гвинтовому пресі	50
1.3. Аналіз способів та конструкцій апаратів для очищення віджатої із рослинної сировини олії	61
Висновки до розділу 1	73
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	75
2.1. Розробка математичної моделі і методу розрахунку динаміки процесу тепло-масопереносу при підготовці м'ятки рицини до віджиму олії в багаточанній жаровні	75
2.1.1. Моделювання гідродинаміки мезги в багаточановій жаровні при волого-тепловій підготовці вилучення олії	75
2.1.2. Математична модель динаміки тепломасопереносу і фазових перетворень при сушінні м'ятки	89
2.1.3. Розробка числового методу розрахунку диференціальних рівнянь математичної моделі динаміки тепломасопереносу і фазових перетворень при сушінні м'ятки	102
2.1.4. Розробка алгоритму розрахунку диференціальних рівнянь	107

математичних моделей

2.1.5. Результати визначення кінетики і динаміки зневоднення і пропарювання м'ятки в багаточанній жаровні	109
2.2. Математичне моделювання процесу очищення пресової рицинової олії	121
2.2.1. Розробка нового способу очищення рицинової олії	121
2.2.2. Гідродинаміка частинки домішок в рициновій олії під дією електричного поля в міжелектродному просторі	124
2.2.3. Гідродинаміка парогазової бульбашки в рициновій олії	130
2.2.4. Гідродинаміка крапель води в рициновій олії	134
2.2.5. Кінетика флотаційного очищення рицинової олії	136
Висновки до розділу 2	137
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	140
3.1. Програма досліджень	140
3.2. Методика експериментальних досліджень	140
3.2.1. Методика експериментального дослідження потенціалу тепло-масопереносу м'ятки насіння рицини	140
3.2.2. Методика експериментального дослідження енергії зв'язку вологи із елементами насіння рицини	144
3.2.3. Методика визначення комплексних показників ефективності технологічних процесів переробки рицини	146
3.2.4. Методика дослідження впливу початкової вологості м'ятки рицини на її олієвіддачу	157
3.2.5. Методика визначення рівнянь стану мезги насіння рицини	159
3.2.6. Методика визначення коефіцієнтів фільтрації	163
3.2.7. Методика визначення реологічних властивостей м'ятки насіння рицини	165
3.2.8. Методика експериментальної перевірки адекватності математичної моделі процесу консолідації при виділенні олії в	177

гвинтовому пресі	
3.2.9. Методика дослідження гідродинаміки руху частинок фосфатидів і механічних домішок у рициновій олії під дією електричного поля	179
Висновки до розділу 3	183
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	184
4.1. Результати дослідження фізико-механічних властивостей насіння рицини	184
4.2. Результати експериментальних досліджень тепло-фізичних властивостей насіння рицини і його елементів	191
4.2.1. Результати експериментального дослідження потенціалу тепло-масопереносу м'ятки насіння рицини	192
4.2.2. Результати експериментального дослідження енергії зв'язку вологи із елементами насіння рицини	195
4.3. Результати експериментальних досліджень ефективності волого-теплової обробки м'ятки насіння рицини	197
4.3.1. Результати дослідження впливу початкової вологості м'ятки рицини на вихід олії	197
4.3.2. Результати дослідження впливу технологічних режимів волого-теплової обробки м'ятки на вихід олії	200
4.3.3. Оптимізація технологічних режимів волого-теплової обробки м'ятки рицини	207
4.4. Результати дослідження реологічних властивостей м'ятки насіння рицини	213
4.5. Дослідження процесу фільтрації рицинової олії через шар мезги в пресі	216
4.6. Результати експериментальних досліджень процесу віджиму і фільтрації рицинової олії в гвинтовому пресі	219
4.7. Перевірка адекватності математичної моделі процесу очищення рицинової олії	224
Висновки до розділу 4	228
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ГЛИБОКОЇ	230

ПЕРЕРОБКИ РИЦИНИ НА МАЛОТОННАЖНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	
5.1. Класифікація способів і засобів переробки насіння рицини	230
5.2. Удосконалення технології переробки насіння рицини адаптованої до умов малотоннажного підприємства	239
5.2.1. Розрахунок багаточанної жаровні продуктивністю 625 кг / год	251
5.2.2. Методика розрахунку гвинтового пресу	270
5.2.3. Розрахунок експериментального форпреса продуктивністю 625 кг/год преса для малотоннажного виробництва	285
5.3. Фінансово-економічний аналіз	292
Висновки до розділу 5	302
ВИСНОВКИ	304
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	306
ДОДАТКИ	331

ВСТУП

Актуальність теми. Рицина – одна з олійних культур, для якої є дуже сприятливою ґрунто-кліматична зона Півдня України. Основним продуктом переробки насіння рицини є рицинова олія, яка складає 50-55% загального об'єму насіння, що є найвищим значенням серед олійних культур.

Рицинова олія завдяки власним фізико-хімічним властивостям є важливою сировиною для багатьох галузей економіки. В ній міститься 81-96% гліцеридів рицинолевої кислоти, а діелектрична постійна складає 4,0-4,5%, в той час як для інших олійних культур вона не перевищує 3,0-3,2%. Продукти переробки цієї культури в Україні є без винятку предметом імпорту.

У зв'язку з цим виникла **народно-господарська проблема** державного рівня, яка полягає у розробці імпортозамінних технологій глибокої переробки насіння рицини.

Для організації переробки рицини в Україні було вивчено досвід провідних світових виробників – італійської фірми «Alimenta», німецького концерну «Krup» та інших. Встановлено, що сучасні господарсько-економічні умови не забезпечують ефективне функціонування підприємств великої потужності. Найбільш доцільним є будівництво сітки малотоннажних підприємств по переробці насіння рицини потужністю 15, 30 і 45т за добу.

Для створення таких потужностей необхідно розробити нові технологічні підходи та техніко-технологічні рішення, зокрема, для основних технологічних операцій переробки рицини: волого-теплової підготовки м'ятки, віджиму олії в гвинтових пресах і очищення віджатої олії. Вирішення вказаної проблеми полягає в удосконаленні названих технологій і їх адаптації до умов малотоннажного виробництва. Це викликає необхідність вирішення **науково-технічної проблеми**, суть якої полягає у розробці моделей і методів наукового обґрунтування технологічних режимів і конструктивних параметрів технологічного обладнання переробки рицини в умовах малотоннажного підприємства.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Робота виконана у відповідності з концепцією Державної цільової науково-технічної програми розвитку виробництва та використання біологічних видів палива, яка ухвалена Розпорядженням Кабінету Міністрів України №276-р від 12 лютого 2009р. згідно Закону України «Про альтернативні види палива», №1391-XIV від 14.01.2000р. та «Енергетичною стратегією України на період до 2030 року», яка схвалена Розпорядженням Кабінету Міністрів України №1071 від 24.07.2013р., Наказом Мінфіна України №631 від 04.07.2006р. «Про визначення пріоритетних напрямів енергозбереження», Постановою Кабінету Міністрів України №1774 від 22.12.2006р. «Програма розвитку біопалива».

Дослідження виконані за комплексною програмою наукових досліджень НДІ механізації землеробства півдня України Таврійського державного агротехнологічного університету, НТП «Розробка наукових основ, систем, технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України на період 2007...2010рр.» підпрограма «Виробництво біосировини та раціональне використання паливо-мастильних матеріалів (№ держреєстрації 0107U008952), НТП «Розробка технології, створення та використання експериментальних зразків для переробки рицини на енергетичну біосировину та раціональне використання продуктів її конверсії (№ держреєстрації 0111U001950), НТП «Удосконалення організації, технології та засобів технічного сервісу складальних сільськогосподарських, енергетичних засобів в Запорізькій області на період 2010...2015рр.» (№ держреєстрації 0111U002560), НТП «Підвищення надійності технічних та зрошувальних систем та комплексів АПК, розділ «Розробка технологій та апаратів для очищення та контролю від забруднення робочих та мастильних рідин на період 2016-2020рр. (№ держреєстрації 0116U002743).

Концептуальна ідея роботи полягає в тому, що підвищення ефективності переробки насіння рицини можливе за рахунок розробки нової безекстракційної технології отримання олії, оптимізації технологічних режимів

і обґрунтування конструкційних параметрів обладнання, пристосованого для умов малотоннажного підприємства.

Мета і задачі досліджень. *Мета досліджень* – забезпечення глибокої переробки насіння рицини в умовах малотоннажного підприємства з технологічним виходом рицинової олії заданої якості, що забезпечує залишкову олійність жмиху не більше 8%, шляхом застосування двократного пресування з попередньою волого-тепловою підготовкою сировини.

Відповідно до поставленої мети були сформульовані такі *завдання досліджень*:

1. Провести аналіз світового досвіду переробки насіння рицини, існуючих технологій і технічних засобів отримання продуктів переробки насіння рицини, теоретичних основ волого-теплової підготовки насіння олійних культур до віджиму, пресування мезги в гвинтовому пресі і очищення вилученої олії від механічних домішок та фосфатидів.

2. Здійснити моделювання та обґрунтування процесів волого-теплової обробки м'ятки рицини перед її пресуванням та очищення пресової рицинової олії від механічних домішок та фосфатидів під дією електричного поля.

3. Дослідити фізико-механічні, термодинамічні та технологічні властивості насіння рицини та визначити вихідні вимоги щодо розроблення нової безекстракційної технології його глибокої переробки.

4. Обґрунтувати конструкційно-технологічні параметри та режими роботи обладнання для отриманої рослинної олії заданої якості.

5. Удосконалити безекстракційну технологію переробки рицини методом двократного пресування для умов малотоннажного підприємства.

6. Провести фінансово-економічний аналіз безекстракційної технології переробки рицини методом двохкратного пресування, адаптованої для умов малотоннажного виробництва потужністю 15 т/добу по вихідній сировині.

Об'єктом дослідження є технологічний процес глибокої переробки насіння рицини, адаптований до умов малотонажного підприємства.

Предметом дослідження є закономірності впливу властивостей насіння рицини та конструкційно-технологічних параметрів обладнання на ефективність виробництва рицинової олії та її якісні показники.

Методи досліджень. При розв'язанні задач, поставлених у роботі, застосовувалися методи термодинаміки, гідродинаміки, тензорного обчислення та математичної фізики.

Вивчення процесу волого-теплової підготовки м'ятки базувалося на молекулярній теорії тепло-масопереносу, що обґрунтована на основі закону інтенсивності електричного випромінювання мікрочастинок М.І. Нікітенко і на відміну від феноменологічної теорії дозволяє визначити динамічні і кінетичні характеристики речовини. Приймали, що процеси дифузії та випаровування рідини є активаційними і їх інтенсивність істотно залежить від температури. Шар м'ятки розглядався як багатокомпонентна колоїдна капілярно-пориста дисперсна система, що включає в себе «скелет», рідку фазу у вигляді води і олії та порогазову суміш.

Для моделювання складних рухів м'ятки в чанах жаровні застасовані методи, що використовуються при дослідженні руху турбінних мішалок. Завдяки використанню цього методу, наряду з основним рухом визначено потік вторинної циркуляції.

Процес віджиму олії із мезги розглядали як двофазну систему з аналогічними, одночасно протікаючими процесами взаємного переміщення обох фаз і фільтрації олії через шар «скелета» мезги. Було застосовано метод дослідження процесу гвинтового плинну розплаву полімерів в зоні дозування черв'яка екструдера, при моделюванні руху мезги насіння рицини в робочій зоні гвинтового пресу, завдяки спільним особливостям: обидва матеріали, що переробляються, рухаються по гвинтовій поверхні під тиском, при високій температурі та великій в'язкості і розглядаються як ньютонівські рідини. На процес руху обох матеріалів впливає як циркуляційна так і поступальна течія, а також тепло, що виділяється завдяки в'язкому тертю і теплообміну з навколишнім середовищем.

Для моделювання руху мезги в робочому каналі гвинтового преса застосований метод зворотнього руху, який дозволив представити гвинтоподібний робочий орган у вигляді розгорнутого каналу, який був реалізований на спеціально розробленому експериментальному комплексі, що був використаний як модель технологічної лінії.

Для експериментального моделювання процесу електрофлотації було розроблено лабораторну установку, яка дозволила очищати віджату рицинову олію за методом, захищеним патентом України на корисну модель № 118672.

Наукова новизна результатів полягає в розв'язанні науково-прикладної проблеми, що полягає у науковому обґрунтуванні технологічних режимів і конструкційних параметрів технологічного обладнання для переробки рицини в умовах малотоннажного підприємства.

Вперше:

- на основі розробленої математичної моделі отримано аналітичні закономірності кінетики та динаміки тепло-масопереносу і фазових перетворень при жарінні м'ятки рицини, використання яких оптимізувати технологічні режими та конструкційні параметри багаточанної жаровні з урахуванням гідродинаміки пористої системи мезги;

- експериментальним шляхом отримано функціональні залежності виходу олії рицини від реологічних параметрів мезги її насіння, розроблено методичні засади та обґрунтовано конструкційно-технологічні параметри гвинтового преса для малотоннажного виробництва.

- розроблено новий спосіб очищення віджатої олії від фосфатидів та механічних домішок методом електрофлотації, який відрізняється від відомих способів більш низькими енерговитратами.

Набуло подальшого розвитку:

- методологія експериментальних досліджень основних фізико-механічних, тепло-фізичних та технологічних властивостей насіння рицини та її елементів, що дало можливість їх використання при розв'язанні диференційних

рівнянь, що описують закономірності процесів тепло-масопереносу в дисперсних пористих системах при підготовці мезги до віджиму олії;

- числовий метод сумісного розв'язання систем нелінійних диференційних рівнянь дифузійно-фільтраційного тепло-масопереносу (математична модель процесу тепло-масопереносу і фазових перетворень в жаровні), який базується на тришаровій перерахунковій різницевої схемі.

Удосконалено:

- методику використання розгорнутого каналу шнека для експериментального дослідження руху мезги з урахуванням сил тертя, опору силам стиснення гелевої частини мезги, нейтрального тиску і протитиску на виході з пресу, що дозволило вперше дослідити вплив технологічних і конструкційних параметрів гвинтового преса на його продуктивність і в цілому визначити їх оптимальні значення;

- технологію глибокої безекстракційної переробки насіння рицини, адаптованої до малотоннажного виробництва, яка відрізняється від відомих тим, що у технологічній схемі використовується обладнання із оптимізованими конструкційно-технологічними параметрами.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

- визначені фізико-механічні, тепло-фізичні і технологічні властивості насіння рицини, що дозволило установити основні закономірності взаємодії робочих органів обладнання технологічної лінії для переробки рицини із технологічним середовищем у вигляді м'ятки і мезги насіння рицини і рицинової олії;

- числове розв'язання диференційних рівнянь математичної моделі та їх дослідження дозволили розробити методику інженерного розрахунку основних технологічних режимів та конструкційних параметрів електрофлотаційної установки;

- визначені оптимальні технологічні режими і конструкційні параметри обладнання для волого-теплової обробки м'ятки рицини, що дозволило підвищити ступінь віджиму рицинової олії;

- отримані умови стійкості різницевих рівнянь, побудовано алгоритми розрахунків і створено програмний комплекс, що може використовуватись для розрахунку динаміки і кінетики тепло-масопереносу і фазових перетворень в процесі жаріння дисперсного шару будь-якої олійної сировини в багаточанних жаровнях безперервної дії циліндричної конфігурації з довільними геометричними параметрами;

- обґрунтовано основні технологічні режими і конструкційні параметри гвинтового преса для віджиму олії із рицинової мезги. Це дозволило підвищити ефективність переробки рицини і зменшити відсоток олії, що залишається в макусі, із 8% до 3%.

- розроблено лабораторну установку для очищення віджатої рицинової олії (Патент України на корисну модель №127279). Конструкторську документацію передано ПрАТ «Уманьферммаш» (Акт впровадження від 10.09.2018р.);

- розроблено спеціальний лабораторний комплекс, який дозволяє визначити оптимальні технологічні режими і конструкційні параметри технологічного обладнання, придатного для насіння будь-якої олійної культури (патенти України на корисну модель №114607, № 115325, №118672;

- удосконалено технологію глибокої переробки рицини для умов малотонажного підприємства і узгоджено його із заводом-виробником технологічного обладнання для переробки насіння олійних культур ТОВ «Уманьферммаш».

Особистий внесок здобувача. Основні результати, які відображають суть дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. Постановка завдань, аналіз і трактування результатів виконано спільно з науковим консультантом.

У наукових працях написаних у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає у:

- отриманні фізико-механічних, тепло-фізичних і технологічних характеристик насіння рицини [8,14,23];

- розробці і дослідженні математичних моделей волого-теплової обробки м'ятки, фільтрації олії через пористу перегородку «скелета» мезги із перемінною пористістю у гвинтовому пресі та гідродинаміки частинок домішок під дією електричного поля [4,6,10,17];

- розробці методик дослідження, лабораторного обладнання і проведенні експериментальних досліджень з оптимізації технологічних режимів і конструкційних параметрів технологічного обладнання[2,13,28,29,30];

- удосконаленні безекстраційної технології глибокої переробки рицини з дворазовим пресуванням, пристосованої до монотонажного виробництва [7,22,26,32];

- техніко-економічній оцінці впровадження малотонажного виробництва за удосконаленою технологією (патенти України на корисну модель №127279, №118672).

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних науково-практичних конференціях (Мелітополь, ТДАТУ, 2008 – 2017рр.); міжнародній науково-практичній конференції «Технічний сервіс в АПК» (м.Харків, ХНТУСГ, 2008р.), міжнародній науково-технічній конференції «Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві» (м.Запоріжжя ІМГ НААНУ, 2010р.), міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» пам'яті академіка П.М.Василенка (м. Луганськ ЛДАУ, 2012р.); международной научной конференции «Проблемы экономического развития аграрного сектора регионов (г. Кишинев (Молдова), 2012 г.); LXIX конференції професорсько-викладацького складу, аспіранті, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів національного транспортного університету (м. Київ, 2013р.); міжнародній науковій конференції «Продовольственная безопасность планеты Земля (г. Пекин, Китай), 2015 г.; международной научно-технической конференции «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве» (г.Минск, Беларусь, 2013 г.); VI міжнародній науково-

практичній конференції, присвяченій пам'яті академіка І.І. Мартиненка «Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України» – м. Мелітополь, 2015р., XVII міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки», присвяченій 116-й річниці з дня народження академіка П.М. Василенка, м. Суми, 2016р.; XIII міжнародній науковій конференції «Рациональне використання енергії в техніці» Tech Energy 2017 присвяченій 116-й річниці з дня народження Момотенка М.П. – м. Київ, 2017р.; міжнародній науково-практичній конференції «Імпортозамінні технології в рослинництві і садівництві» (м. Умань, 2015–2018рр.), XI міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки», м. Кропивницький, 2017р.; міжнародному науково-практичному форумі Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції (21–22 червня 2019р., м. Мелітополь, ТДАТУ).

Публікації. Основний зміст і результати дисертаційної роботи опубліковані в 32 наукових працях. Зокрема, 15 статей у фахових виданнях, 6 статей у зарубіжних виданнях та у виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, отримано 7 патентів України на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота викладена на 285 сторінках машинописного тексту формату А4 і включає вступ, 5 розділів основної частини, загальні висновки, список використаних інформаційних джерел з 261 найменування.

Робота містить 38 таблиць, 92 рисунки та 6 додатків.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз впливу технологічних режимів волого-теплової обробки м'ятки рицини на ефективність віджиму олії

1.1.1. Постановка проблеми.

Волого-теплова обробка м'ятки викликає певні фізико-хімічні і структурні її зміни, що сприяють найкращому ефекту при видобуванні олії. Цей процес називається жарінням і здійснюється у багаточанних жаровнях.

В роботі [102] вперше зроблено спробу представити математичну модель волого-теплової обробки м'ятки в багаточанних парових жаровнях як систему диференціальних рівнянь переносу маси і енергії.

Система диференціальних рівнянь повинна замикатися експериментальними залежностями технологічних властивостей маси, що переробляється і залежностями, що визначають параметри агента сушіння.

Технологічний процес волого-теплової обробки м'ятки по процесам тепло і масопереносу найближчий процесу сушіння. При дослідженні сушіння насіння соняшнику в товстому нерухомому шарі [103], перш за все, були визначені теплофізичні і термодинамічні властивості складових насіння соняшнику. Складено відповідні рівняння регресії цих характеристик.

За аналогії також були отримані рівняння регресії для насіння рицини.

В роботі [104] запропонована безвідходна технологія переробки насіння рицини за схемою двоступеневого віджиму і хімічної детоксикації рицинової макухи. Відмова від екстракції олії дозволяє застосувати технологію в малотонажному виробництві, а відділення лушпиння, хімічна детоксикація макухи, дає можливість отримати не тільки якісну олію, але і високобілкові кормові добавки. Відокремлюване лушпиння використовується для енергозабезпечення технологічного процесу.

Сушіння складається з двох етапів. Перший етап – зволоження, при якому відбувається швидке нагрівання і зволоження м'ятки водою або гострою парою до оптимальної для подальшої обробки початкової вологості. Другий етап – висушування зволоженої м'ятки, в результаті якого змінюються фізичні властивості олії (зменшується в'язкість, густина і поверхневий натяг) та створюється оптимальна структура мезги для подальшого пресування.

М'ятка, що піддається висушуванню, має складний ферментний склад, причому не однаковий для насіння різних олійних культур. Оптимальний перебіг біохімічних процесів під час висушування м'ятки істотно впливає на якість кінцевих продуктів переробки олійної сировини і забезпечується дотриманням певних показників вологовмісту і температури, які вона повинна досягати при вологотепловій обробці, а також тривалості процесу.

Відомо, що зі збільшенням температури нагріву з 80 до 90 °С пружні властивості мезги ростуть. З підвищенням температури нагріву з 90 до 100 °С ростуть пластичні властивості. Мезга, що нагрівалась до 90 °С має найбільш повну денатурацію білків без розплавлення найпростіших білків. За інших рівних умов тиск в пресі вище. Це сприяє більш глибокому зніманню рослинної олії. Однак, для поліпшення гідродинамічних умов виділення з пресованого матеріалу касторової олії, з метою зниження її в'язкості, температура мезги, що надходить на прес, повинна бути в межах 110 – 115 °С [102].

Режими вологотеплової обробки м'ятки (кондиціонування) визначаються закономірностями масо- (волого) і теплопереносу в пористих системах. Дослідження зміни навіть середніх значень (кінетики) температури і вологовмісту м'ятки в процесі її висушування експериментальним шляхом представляє технічно складну задачу, в першу чергу тому, що багаточанна жаровня являє собою апарат безперервної дії. Крім того, експериментальні методи дослідження є істотно витратними.

Метод математичного моделювання є більш ефективним при дослідженні як кінетики, так і динаміки тепломасопереносу в дисперсному пористому шарі м'ятки в багаточанній жаровні.

Дослідження [105, 106, 107] показали перспективність, безпеку, технологічність процесу, енергоекономію, отримання продуктів високої якості при застосуванні гідродинамічних режимів в апаратах з закрученими потоками теплоносія. Частинки постійно взаємодіють одна з одною і зі стінкою сушарки, при цьому збільшується швидкість взаємодіючих фаз, підвищується концентрація твердої фази, час перебування матеріалу в апараті теж збільшується [105, 108, 109, 110, 111]. Йде збільшення коефіцієнтів тепломасообміну, так як збільшується швидкість руху фаз у потоці майже в чотири рази, якщо порівняти з прямолінійними потоками. Все це сприяє підвищенню ефективності сушіння.

Велике значення мають кінетичні моделі, що дозволяють описати процес сушіння харчових продуктів при різних методах підведення енергії [112, 113, 114, 115, 116]. Однак жодна з цих робіт не враховує теплофізичних властивостей олійної сировини, а також гідродинамічних процесів, що відбуваються в жаровнях.

1.1.2. Вплив води на процес приготування мезги

Конкретні режими висушування визначаються вимогами до структури мезги, але вони всі зводяться до загальних різних змін вологості м'ятки при різних температурах і різному темпі змін температури в часі. Таким чином, при всіх різноманітних режимах висушування спостерігається різне поєднання обробки м'ятки вологою і теплом в умовах невеликих механічних впливів, що відбуваються при перемішуванні мезги в жаровні.

Сутність змін, що відбуваються в м'ятці при приготуванні мезги, протягом довгого періоду часу існування промислового отримання олій була абсолютно невивченою. Це не давало можливості свідомо підходити до вибору того чи іншого режиму проведення цього відповідального технологічного процесу. Створення теоретичних основ цього процесу, як і багатьох інших процесів виробництва рослинних олій, належить відомому вченому А.М. Голдовському [117].

Відповідно до загальних уявлень про стан олії в м'ятці і зміні її локалізації при подрібненні, А.М. Голдовський встановив і експериментально довів, що дія води при приготуванні мезги є основним фактором в процесі підготовки матеріалу до виробництва рослинних олій, від якого залежить повнота подальшого відділення олії.

При зволоженні м'ятки у всій її масі відбувається ряд істотних змін, а саме: поглинання води гідрофільними частинками м'ятки, набухання її гелевої частини і в зв'язку з цим збільшення її пластичності.

Поглинання води і набухання м'ятки є основним процесом, що протікає при зволоженні м'ятки і обумовлює ряд наступних її змін.

Відомо, що з двох рідин краще змочує тверду поверхню та, у якій поверхневий натяг на межі з цією стінкою менше, тобто менше відмінність в молекулярних силах, що діють між частинками твердого тіла і між молекулами рідини.

Діелектрична проникність ϵ показує, у скільки разів сила взаємодії двох електричних зарядів в середовищі менша, ніж у вакуумі. Велика різниця в діелектричній проникності між водою і олією буде позначатися на відділенні рицинової олії від мезги. Діелектрична проникність рицинової олії в залежності від її температури змінюється істотно.

Вода, як рідина високополярна ($\epsilon=81$), дуже добре змочує гідрофільну поверхню частинок м'ятки.

Олія за величиною полярності ($\epsilon = 3,0-3,2$) різко відрізняється від води і від гідрофільних гелів частинок м'ятки. Змочуючи гідрофільну поверхню частинки, олія також в якійсь мірі зв'язується силовим молекулярним полем з поверхнею частинок, проте зважаючи на велику різнополярність дотичних фаз, поверхневий натяг на межі «олія - поверхня частинки» дуже великий.

В повітряно-сухому стані м'ятки невелика частина силового молекулярного поля пов'язує навколо полярних груп її молекули у вигляді гідратних оболонок, а інша частина цього поля утримує молекули олії. При додаванні води відбувається зв'язування її молекул силовим молекулярним

полем з вивільненими молекулами олії на відповідних ділянках. Відбувається гідратація поверхневого шару частинок м'ятки.

При всіх існуючих способах віджиму олії після попередньої волого-теплової обробки м'ятки, кількість води, що додається і поглинається, значно менша тієї кількості, яка може поглинатися м'яткою при повному її набуханні.

Так, максимальний вологовміст соняшникової м'ятки, за даними Голдовського, відповідає приблизно 35% вмісту води, тоді як вихідна вологість на першому етапі жаріння при підготовці її до того чи іншого способу видобування олії знаходиться в межах 3 – 12%. Таким чином, в умовах технологічних операцій, пов'язаних зі зволоженням, надлишку води немає, максимум набухання не досягається і вся вода, що вводиться в м'ятку, повністю поглинається і зв'язується, утворюючи оболонки гідратів полярних груп колоїдних міцел гелевої частини м'ятки. Швидкість поглинання при надлишку води на початку процесу надзвичайно велика і постійно зменшується в міру наближення до максимуму набухання. В умовах же звичайних величин зволоження, що застосовуються при волого-тепловій обробці, зволоження м'ятки відповідає початковій стадії процесу повного насичення водою, в якому водопоглинаюча сила і швидкість набухання дуже великі.

Слід розрізняти м'ятки двох типів: 1 – звичайна м'ятка, що отримується в результаті подрібнення ядра насіння з деяким вмістом оболонок; 2 – м'ятка, що отримується в результаті подрібнення форпресованої макухи.

М'ятка як першого, так і другого виду, являє собою дисперсну систему, що складається з двох частин: гелевої гідрофільної частини – грубодисперсного гелевого порошку, складного за хімічним складом, що має гідрофільні властивості, та рідкої гідрофільної частини – олії з розчиненими в ній речовинами, що знаходиться на широко розвинених внутрішніх і зовнішніх поверхнях частинок, пов'язаних силовим молекулярним полем цих поверхонь, що володіє різко вираженими гідрофобними властивостями [117]. Швидкість вбирання води м'яткою залежить від умови зволоження; надзвичайно важливо перемішувати її в момент зволоження. Чим більший вміст олії в м'ятці, тим

повільніше відбувається всмоктування води. Причину агрегування першого роду при зволоженні можна пояснити наступним чином. Вода, що знаходиться на поверхні частинок у вигляді гідратної оболонки, притягується великими силами до поверхні, причому перший шар молекул утримується в нерухомості силовим молекулярним полем поверхонь частинок. Перший рухливий шар утримує другий шар молекул і т.д.

Матеріалом для волого-теплової обробки може бути: м'ятка для попереднього або одноразового пресування; подрібнена форпресома макуха для остаточного пресування.

Вологе жаріння здійснюється в два етапи. На першому етапі проводиться зволоження і нагрівання м'ятки шляхом додавання води, а потім пропарювання і доведення таким шляхом вологості і температури олійного матеріалу до оптимальних величин, що визначаються індивідуальними властивостями м'ятки, отриманої з того чи іншого насіння. Якщо вихідна вологість м'ятки дорівнює оптимальній початковій вологості, то перший етап полягатиме тільки в швидкому нагріванні можливо більш сухої пари до оптимальної температури.

Другий етап - висушування зволоженої м'ятки зі створенням оптимальної структури і з доведенням її вологості і температури до величин, оптимальних для пресування і характерних для готової мезги.

Доведення температури і вологості на першому етапі волого-теплової обробки до певних величин являє собою процес кондиціонування м'ятки, що забезпечує однакове протікання необхідних змін властивостей матеріалу на другому етапі. В результаті висушування матеріалу в заданих умовах відбувається утворення структури матеріалу, необхідної для його пресування.

1.2. Фізика процесу пресування мезги

При дослідженні процесів вологотеплової обробки м'ятки і зміні режимів віджиму в гвинтових пресах використовувалися, нарівні з теорією переробки насіння олійних культур, методи і математичні моделі з інших галузей науки.

Мезгу насіння олійних культур слід віднести до багатофазової системи: «скелет» (гелева частина) мезги - порова рідина - рослинна олія і вода, а також парогазова складова. У механіці ґрунтів розроблена і широко застосовується теорія консолідації ґрунтів з одночасним урахуванням фільтраційних властивостей ґрунту і властивостей повзучості [2,3,5].

Термін «повзучість», як він зараз розуміється в механіці суцільних середовищ, не охоплює всього процесу деформування багатофазних середовищ. У зв'язку з цим кращим є термін «консолідація», під яким розуміється деформування багатофазного середовища в часі при постійному зовнішньому навантаженні. При цьому процес ущільнення відбувається як за рахунок поступового вичавлювання порової рідини, так і за рахунок одночасного протікання реологічних процесів у «скелеті» середовища.

Особливістю процесу віджиму рослинних олій в гвинтовому пресі, що відрізняє його від явищ, що розглядаються в класичних теоріях фільтрації і міграції, полягає в безперервному зменшенні пористості матеріалу.

Опис полів гідродинамічного тиску і швидкостей рідини (олії), що заповнює пори «скелета» мезги в робочому просторі зерної камери гвинтового преса вирішується тим, що розглядається процес консолідації [2,5].

При гвинтовому русі мезги по гвинтовому пресу одночасно протікають два фізичних процеса: пресування пористого «скелета» мезги і фільтрація олії через шар цього «скелета» і зер корпусу преса.

Процес пресування мезги і фільтрації олії через шар мезги відбуваються при відносному русі один до одного. Такий процес фільтрації в механіці ґрунтів описується залежністю Дарсі-Герсеванова [2,5].

1.2.1. Рух високов'язких матеріалів по гвинтовим траєкторіям

Перебіг мезги в гвинтових пресах можна уподібнити процесу гвинтової течії розплаву полімерів. Перебіг розплаву в зоні дозування відбувається під дією сил в'язкого тертя, що розвиваються внаслідок відносного руху черв'яка і стінок циліндра, подібно течії рідини в гвинтових насосах - по гвинтовій

траєкторії [150]. Прийнято представляти цю течію як суму двох незалежних рухів [151, 152]: поступального руху вздовж осі гвинтового каналу, циркуляційного (кругового) руху в площині $хоу$ нормального до осі гвинтового каналу.

Об'ємна витрата поступальної течії визначає продуктивність преса. Циркуляційна течія виникає внаслідок існування складової швидкості відносного руху в напрямі, що перпендикулярний осі гвинтового каналу, що захоплює розплав в цьому напрямку.

Рухаючись упоперек каналу, потік зустрічає стінку, що виштовхується і прямує уздовж неї на дно каналу, а потім у зворотний бік. Циркуляційна течія забезпечує гомогенізацію розплаву, вирівнює розподіл температур і дозволяє використовувати екструзію для змішування.

Частина матеріалу, що знаходяться поруч зі стінкою, що не повертається назад, а проходить через кільцевий зазор, який існує між гребенем стінки гвинтового каналу і внутрішньою поверхнею корпусу. Це потік витоку.

Просуваючись в зоні дозування, полімер продовжує нагріватися як за рахунок підведення тепла ззовні, так і за рахунок тепла, що виділяється внаслідок інтенсивної деформації зсуву.

Математична модель зони дозування є результатом спільного рішення системи рівнянь, які виражають закони збереження маси, енергії і кількості руху при ламінарному плинні, з рівняннями, що описують фізичний стан рідини [153-161].

Найбільш послідовно модель гвинтового ізотермічного плинуньютонівської рідини була розглянута низкою американських авторів: Карлео, Маллука і Мак-Кельві [162-165], що поклали початок гідродинамічного підходу до опису процесу екструзії.

Використання спрощеної моделі дозволило розібратися в механізмі руху розплаву. Експериментальні дослідження Маддока [166-168], Екера [165] та інших показали, що якісна картина добре узгоджується з даними дослідів. Однак спроби застосування цієї моделі для цілей інженерного розрахунку

виявилися безуспішними, оскільки при її побудові ігнорувалися основні особливості розплаву, такі як аномалія в'язкості, температурна залежність в'язкості, наявність процесу теплообміну.

Згодом задача при гвинтовому русі аномально-в'язкої рідини неодноразово розглядалася в ряді вітчизняних і зарубіжних робіт. Так, ізотермічна течія «ступеневої» рідини розглядалася в роботах Балашова [169], Торнера [170, 171, 172], Бостанджіяна [173], Морі [174], Глайда [175], Якобі [176], Крюгера [177], Кроссер [178], Мак-Келві [179] та інших авторів. Гвинтову течію бінгамової рідини розглянуто в роботах Столина і Бостанджіяна [180], Тябіна [181], Де-Ховена [182] та інших. Робилися також спроби побудови моделей течії еластичних рідин [183]. Однак ці роботи не дозволили моделювати реальний процес, оскільки в них не враховувалося існування теплообміну.

Для опису гвинтової течії розплаву широко застосовується метод зверненого руху [156-159]. Щоб задовільно описати процес екструзії, математична модель течії розплаву в межах зони дозування повинна враховувати основні особливості процесу: існування аномалії в'язкості; взаємний вплив циркуляційної і поступальної течій; вплив тепла, що виділяється в результаті в'язкого тертя, і теплообміну з навколишнім середовищем на температуру і ефективну в'язкість розплаву.

Приклад математичної моделі гвинтової течії ньютонівської рідини наведено Р.В. Торнером, який течію вважав сталою а масовими силами і силами інерції знехтував. З урахуванням цих припущень було визначено, що рівняння рівноваги в напругах зведуться до виду [2,5,184] :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial x} &= \frac{\partial p_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zx}}{\partial z}; \\ \frac{\partial P}{\partial y} &= \frac{\partial p_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial z}; \\ \frac{\partial P}{\partial z} &= \frac{\partial p_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial x}. \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

Середовище вважають нестисливим [2,5]:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad (1.2)$$

В якості реологічного рівняння стану використовують узагальнений ступеневий закон[189] :

$$\eta_a = \mu_0 e^{-b(T-T_0)} \left(\frac{1}{2} I_2 \right)^{\frac{1-n}{2n}}, \quad (1.3)$$

де μ_0, n – константи матеріалу; b – температурний коефіцієнт в'язкості; I_2 – квадратичний інваріант тензору швидкостей деформації.

Таким чином, процес гвинтової течії розплаву полімерів в зоні дозування черв'яка екструдера і руху мезги насіння рицини в гвинтовому пресі мають наступні загальні риси: обидва переробляємих матеріала рухаються по гвинтовій лінії під тиском, при високій температурі, вони високов'язкі, розглядаються як ньютонівські рідини. На процес переміщення обох матеріалів роблять взаємний вплив циркуляційна і поступальна течії, тепло, що виділяється в результаті в'язкого тертя і теплообміну з навколишнім середовищем.

При розгляді пресування мезги в гвинтовому пресі ніхто не брав до уваги в математичній моделі високу температуру мезги і її приріст, в результаті в'язкого тертя, і вплив на ефективну в'язкість мезги. Однак, мезгу насіння рицини, на відміну від розплаву полімерів, слід розглядати як двофазну систему, що складається зі «скелета» мезги і порової рідини у вигляді високов'язкої рицинової олії. При гвинтовому русі мезги по гвинтовому пресу одночасно протікають два фізичних процеси: пресування пористого «скелета»

мезги і фільтрація олії через шар цього «скелета» і потім через зеєр корпусу преса.

1.2.2. Види тиску, що діють на робочі органи гвинтового преса

В роботі [185] проведено аналіз процесу пресування на прикладі одного витка гвинтового валу. Наведена методика може бути поширена на преси, що мають вали з декількома витками, на вали зі змінним перетином, а також на приймальний виток. В цьому випадку необхідно розбити всю пресуючу частину машини на ділянки між витками шнека і розглядати явище на кожній ділянці відповідно до наведеної нижче методики.

У пресованій масі існує дві системи тиску. За аналогією з механікою дисперсних тіл, першу систему називається нейтральним тиском, другу - ефективним, а суму - повним тиском. Нейтральний тиск H визначається напором фільтруємої олії; ефективний тиск P сприймається «скелетом» мезги.

У міру пресування мезги повний тиск зростає внаслідок опору фільтрації (завдяки звуженню міжчасткових каналів) і зростанню опору мезги стиску при зближенні її частинок. Як повний тиск, так і його складові - нейтральний і ефективний тиск, є функціями порозності мезги.

Нейтральний тиск H визначається опором, який сприймає олія, що фільтрується при проходженні по міжчастинковим каналам мезги і крізь щілини циліндра, і тому може бути представлений як сума двох напорів: напору фільтрації h и напору течії крізь зеєрні щілини q [185]:

$$H = (h + q)g\rho , \quad (1.4)$$

де ρ – щільність рідини в кг/м^3 ;

g – прискорення вільно падаючого тіла в м/с^2 .

Напір фільтрації олії визначається згідно із законом Дарсі, відповідно до якого витрата фільтруємої рідини в одиницю часу через елементарний

поперечний переріз дисперсної речовини при її ламінарній течії дорівнює [187]:

$$v = kJ \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon}, \text{ м/с}, \quad (1.5)$$

де

$$J = \frac{h_2 - h_1}{L_1}, \quad (1.6)$$

J – гідравлічний градієнт - відношення різниці напорів до довжини шляху фільтрації;

k – коефіцієнт фільтрації;

$$v = \frac{V}{F} \text{ м/с}, \quad (1.7)$$

де V – витрата рідини, м³/с;

F – площа перетину в м²;

ε – коефіцієнт порозорості;

h_2 – максимальний напір олії, що піддається фільтрації;

h_1 – тиск середовища, в яке відбувається витікання.

Оскільки витікання олії з циліндра крізь зеєрні щілини відбувається при атмосферному тиску, то $h_1 = 0$. Тоді з рівнянь (1.4) та (1.6) слідує

$$h = h_2 = \frac{vL_1\varepsilon}{k(1 + \varepsilon)} \text{ м}, \quad (1.8)$$

Напір витікання олії крізь зеєрні щілини може бути визначено за загальними закономірностям гідравліки. Рівняння визначення нейтрального тиску може бути представлено в наступному вигляді [187]:

$$H = \left[\frac{\nu L_1 \varepsilon}{k(1 + \varepsilon)} + q \right] g \rho, \text{ н/м}^2, \quad (1.9)$$

З рівняння (1.9) можна зробити наступні висновки:

1. Швидкість витікання залежить від опору фільтрації і є функцією порозності речовини. Чим менше порозність, тим вище опір фільтрації, а так як порозність змінна, і зменшується у напрямку до діафрагми, то і швидкість витікання по довжині зерного циліндру падає у напрямку до діафрагми.

2. Чим більший шар мезги між зером і гвинтовим валом, тим більший шлях фільтрації L_1 та тим нижче швидкість течії олії при тому самому напорі.

Внаслідок безперервної зміни порозності і фізико-механічних властивостей мезги при її ущільненні, коефіцієнт фільтрації неоднаковий в різних перетинах пресованої мезги по довжині циліндра.

Коефіцієнт фільтрації k та гідравлічний градієнт J залежить не тільки від порозності рідини, але і від характеру підготовки мезги до пресування, що визначається рядом таких факторів, як, наприклад, температура, вологість тощо. Вивчення закономірностей впливу параметрів k та J повинні слугувати предметом спеціального дослідження.

Ефективний тиск P . Умовно можна вважати, що мезга в циліндрі преса розташовується у вигляді порожнього циліндра, підставами для цього служать передня поверхня витка шнека і діафрагма, які утворюють поверхні - внутрішня поверхня зерного циліндра і вал шнека. Оскільки шнековий вал обертається, то і кожний перетин цього циліндра, перпендикулярний до його осі, буде прагнути брати участь в двох рухах: поступальному - уздовж осі преса, від витка до діафрагми, і обертальному навколо осі.

Під ефективним тиском розуміємо той тиск, який діє від витка шнека у напрямку його осі і забезпечує ущільнення «скелета» мезги. Цей тиск врівноважується в пресі силами тертя мезги об стінки зерного циліндра, які утримують ножами і валом шнека, а також опором діафрагми.

В елементарному шарі діють наступні сили (рис. 1.1):

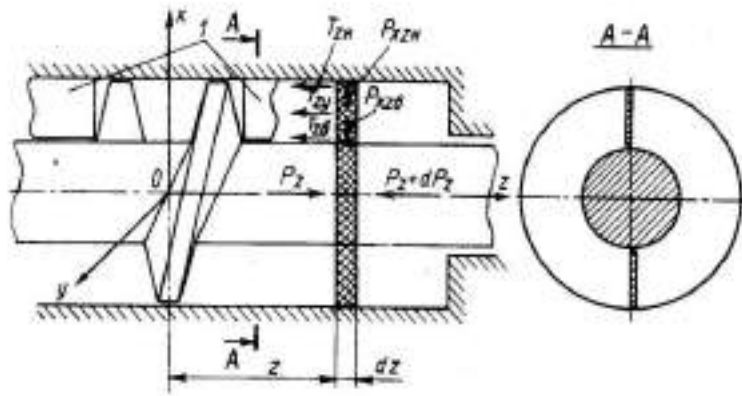


Рис 1.1. Схема осьових сил і сил бокового тиску, що діють в гвинтовому пресі [185]

1. нормальний тиск P_z и $(P_z + dP_z)$ відповідно на відстані z та $(z + dz)$ від витка шнеку;

2. боковий тиск P_{xz} – по зовнішній поверхні шару мезги P_{xzH} , по її внутрішній поверхні P_{xzB} , по поверхні ножів P_{xzy} ;

3. сили тертя по зовнішній поверхні слою T_{zH} (по внутрішній порожнині зерного циліндра) і по внутрішній його поверхні T_{zB} (по валу шнека);

4. сили тертя про утримуючі ножи T_{zy} .

Для елементарного шару приймаємо наступні умови:

$$P_{xzH} = P_{xzB} = P_{xzy} = P_{xz},$$

тоді:

$$T_{zH} = P_{xz} f_{gH}; \quad (1.10)$$

$$T_{zB} = P_{xz} f_{gB}, \quad (1.11)$$

$$T_{zy} = P_{xz} f_{gy}, \quad (1.12)$$

де f_{gH} – коефіцієнт тертя мезги о внутрішню поверхню циліндра пресу;

f_{gB} – коефіцієнт тертя мезги о вал шнека;

f_{gy} – коефіцієнт тертя мезги що утримують ножі.

В механіці дисперсних тіл встановлено, що діючи в елементарному шарі нормальний тиск P_z пов'язаний з величиною бокового тиску P_{xz} наступною залежністю:

$$\frac{P_{xz}}{P_z} = \xi, \quad (1.13)$$

де ξ – коефіцієнт бокового тиску.

Проектуючи всі сили на ось z та використовуючи рівняння (1.10), (1.11), (1.12), одержимо:

$$F dP_z = -\left(f_{gH} P_{xz} S_H dz + f_{gB} P_{xz} S_B dz + f_{gy} P_{xz} S_y dz\right), \quad (1.14)$$

де $F = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ – площа поперечного перетину виділеного шару в m^2 ;

$S_H = \pi D$ – периметр шару по внутрішній порожнині зєрного циліндру в м;

$S_B = \pi d$ – периметр шару по валу шнека в м;

S_y – периметр утримувальних ножей в м;

dz – довжина елементарного шару в м;

D – внутрішній діаметр зєрного циліндру в м;

d – діаметр валу шнека в м.

Підставляючи в рівняння (1.14) значення вхідних в нього величин, одержимо:

$$\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} dP_z = -\xi P_z \pi \left(f_{gH} D + f_{gB} d + f_{gy} \frac{S_y}{\pi} \right) dz, \quad (1.15)$$

$$\frac{dP_z}{P_z} = -\frac{4\xi \left(f_{gh}D + f_{gb}d + f_{gy} \frac{S_y}{\pi} \right) dz}{D^2 - d^2}, \quad (1.16)$$

При протіканні реального процесу значення величин коефіцієнтів тертя і бокового тиску не є постійними і в значній мірі залежать від ступеня ущільнення мезги, її фізико-механічних властивостей, що створює тиск і ряд інших чинників.

У зв'язку з цим значення цих величин будуть відрізнятися в різних площинах по довжині циліндра.

Як показують проведені експериментальні дослідження, коефіцієнти тертя f в процесі пресування змінюється несуттєво. Що стосується коефіцієнтів бокового тиску ξ , то в першому приближенні можна прийняти боковий тиск P_x пропорціонально вісьовому P_z . У зв'язку з цим при інтегруванні f та ξ приймаємо постійними.

Інтегруя приведене вище рівняння, одержимо:

$$\int \frac{dP_z}{P_z} = -\int \frac{4\xi \left(f_{gh}D + f_{gb}d + f_{gy} \frac{S_y}{\pi} \right) dz}{D^2 - d^2} + c_1, \quad (1.17)$$

Вводимо позначення

$$c = \frac{4\xi \left(f_{gh}D + f_{gb}d + f_{gy} \frac{S_y}{\pi} \right)}{D^2 - d^2}, \quad (1.18)$$

Проводячи інтегрування, одержимо $\ln P_z = -cz + c_1$, при $z=0$ $P_z = P$.

Тоді $c_1 = \ln P$, $\ln P_z = -cz + \ln P$, звідки:

$$\ln \frac{P_z}{P} = -cz, \quad (1.19)$$

$$P_z = Pe^{-cz}, \quad \text{н/м}^2 \quad (1.20)$$

Рівняння (1.20) є рівняння розподілу пресуючих тисків на розглянутій ділянці по довжині зерного циліндра. Тиск від ущільнення «скелета» мезги у діафрагми (тобто у вихідного отвору) можна отримати підставивши в рівняння (1.20) $z = L$, де L – довжина зерного циліндру (в м) від витка шнеку до діафрагми:

$$P_{z=L} = P_d = Pe^{-cL}, \quad \text{н/м}^2, \quad (1.21)$$

Величина P , що входить у рівняння, та є необхідним нам ефективним тиском, діючи на виток шнеку:

$$P = P_d e^{cL}, \quad \text{н/м}^2, \quad (1.22)$$

$$P_z = P_d e^{c(L-z)}, \quad \text{н/м}^2, \quad (1.23)$$

З рівняння (1.20) видно, що характер розподілу пресуючих тисків по довжині зерного циліндра виражається логарифмічною залежністю. При розрахунку тисків по рівняннях (1.20) – (1.23) результат буде тим точніше, чим ближче будуть значення величин, що входять в рівняння коефіцієнтів, до усереднених їх значень по довжині циліндра.

Боковий тиск. Використовуючи рівняння (1.15) і (1.20), рівняння залежності бокового тиску від ефективного тиску в кожній точці зерного циліндра по його довжині можна представити в наступному вигляді [185]:

$$P_{xz} = \xi P e^{-cz} \quad \text{н/м}^2. \quad (1.24)$$

Повний боковий тиск на стінки зерного циліндра [185,187]:

$$Q_{xz} = P_{xz} + H, \quad \text{н/м}^2, \quad (1.25)$$

$$Q_{xz} = \xi P e^{-cz} + H, \quad \text{н/м}^2. \quad (1.26)$$

Повний питомий тиск пресування. Повний питомий тиск на робочу (пресуючу) грань витка преса визначається сумою двох тисків - нейтрального і ефективного [186,187]:

$$Q = H + P, \quad (1.27)$$

Підставляючи значення з рівняння (1.9) і з рівняння (1.22) в рівняння (1.27), отримаємо: [186,187]

$$Q = g\rho \left[\frac{\nu L_1 \varepsilon}{k(1+\varepsilon)} + q \right] + P_d e^{cL}, \quad \text{н/м}^2 \quad (1.28)$$

З рівняння (1.28) випливає, що залежність між збільшенням опору діафрагми, яке визначається величиною розкриття щілини для виходу макухи, і збільшенням тиску пресування нелінійна. Зазначене положення підтверджується практичною роботою.

В.В. Белобородов, аналізуючи наведене рівняння (1.28), ввів наступне доповнення. Так як $P_z = P e^{-cz}$ та $P_{xz} = \xi P e^{-cz}$ (при $z=0$, $P_z = P$ – див. (1.20) і (1.14)), з трикутника розкладання тисків на тверду фазу рівнодіючий P_T визначається в наступному вигляді [193]:

$$P_T = \sqrt{P_z^2 + P_{xz}^2} = P e^{-cz} \sqrt{1 + \xi^2}, \quad (1.29)$$

Загальний тиск на виток шнека при цьому приймає вигляд [193]:

$$Q = g\rho \left[\frac{\nu L_1 \varepsilon}{k(1 + \varepsilon)} + q \right] + Pe^{-cz} \sqrt{1 + \xi^2}, \quad (1.30)$$

В роботі [183] стверджують, що в пресованій мезгі має місце дві системи тиску. За аналогією з механікою дисперсних тіл тиск, що впливає на порову рідину (олію) називають нейтральним тиском. Тиск, сприймається «скелетом» мезги, називають ефективним тиском. Однак коли розглядають схему діючих в елементарному шарі мезги сил, то не враховують гідродинамічний (нейтральний) тиск в олії, який створюється теж за рахунок впливу шнека на мезгу. В теорії консолідації ґрунтів [186 – 188] також приймаються дві системи тиску, які одночасно діють на тіло, що стискається. Розробка теорії про розподіл для будь-якого моменту часу тиску в поровій рідині є основним завданням теорії консолідації. У процесі стиснення кожна зі складових тисків може змінюватися за величиною. В теорії консолідації, на відміну механіки суцільних середовищ, процес фільтрації розглядається в умовах безперервного зменшення пористості матеріалу.

Напір фільтрації олії визначають за законом Дарсі. У разі процесу пресування мезги і фільтрації олії через шар переміщення мезги по поверхні гвинтового валу «скелет» мезги деформується і, отже, знаходиться в русі щодо порової рідини. Процес фільтрації для такого випадку описується залежністю Дарсі-Герсеванова.

1.2.3. Закономірності процесів обробки мезги в гвинтовому пресі

Ступінь стиснення мезги в гвинтовому пресі

Ступінь стиснення – це відношення початкового об'єму мезги до кінцевого об'єму, зумовленого певним тиском. Відомо, що мезга в гвинтовому пресі знаходиться у вільному об'ємі витка, який безперервно зменшується, чим і створюється тиск на мезгу.

Стосовно гвинтового пресу ступінь стиснення мезги в ньому – це відношення вільного об'єму попереднього витка до вільного об'єму наступного. Для пресів ФП і ЛЦ розрахована ступінь стиснення, що наведені в (табл. 1.1.).

Таблиця 1.1.

Ступінь стиснення у пресів ФП і ЛЦ [189]

Тип пресу	Номер витка									Кінцева втулка
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ФП	1	1,26	1,70	3,90	5,40	6,48	8,04	10,8	–	13
ЛЦ	1	–1,26	–1,25	2,24	3,27	5,01	7,10	11,3	9,6	–

Характер зміни вільного об'єму витоків за довжиною гвинтового вала характеризує правильність його конструкції і правильність розмірів витків і зеєрного барабана, тобто характеризує вал з якісної сторони. Ступінь стиснення мезги, створена шнеком, характеризує її з кількісної сторони.

Якщо для пресів різних типів зіставити зміни вільного об'єму вала, то відразу виявиться різниця, як в конструкції, так і в якості вала. Зрозуміло, що найкращою конструкцією гвинтового вала буде та, у якій зміна вільного об'єму буде найбільш плавною.

Мезга, що надходить, має велику кількість міжчасткових пустот, які для скорочення зовнішньої поверхні мезги повинні бути якомога скоріше ліквідовані. Тому очевидно, що для створення хоча б невеликого тиску на мезгу вільний обсяг витка повинен різко зменшитися. На наступних витках вільний об'єм повинен змінюватися менш інтенсивно, так як після ліквідації міжчасткових пустот внутрішня поверхня зменшується за рахунок стиснення капілярів гелевою частини, об'єм якої відносно малий.

Вищевказаним міркуванням більш повно відповідає зміна вільного об'єму витоків гвинтового вала преса ФП.

Зміна вільного об'єму витоків підпорядковується деякій закономірності, тому між вільним об'ємом витка і його порядковим номером на гвинтовому валу повинна бути цілком певна закономірність. Така закономірність була

встановлена для преса ФП [189], який володіє найкращою конструкцією гвинтового вала, у вигляді рівняння:

$$V_{c.o} = \frac{7,78}{n_o^{1,145}}, \quad (1.31)$$

де $V_{c.o}$ – вільний об'єм витка;

n_o – порядковий номер витка на гвинтовому валу.

Отримана залежність дозволяє розрахувати, скільки витків повинно бути на гвинтовому валу для створення певної міри стиснення, або ж знайти об'єм кожного витка на гвинтовому валу.

Ступінь стиснення мезги, що отримується поділом вільного об'єму першого витка на вільний об'єм останнього витка, характеризує в деякій мірі шнековий вал. Однак ця ступінь не є ступенем стиснення мезги в пресі. Після останнього витка є предконусна камера, де вільний об'єм так само зменшується. Крім того, після предконусної камери є регулювальний пристрій тієї чи іншої конструкції, який створює протитиск, що також викликає стиснення мезги.

Отже, теоретичну ступінь стиснення мезги в пресі ε_{np}^T можна уявити як ступінь стиснення мезги, створювану шнековим валом $\varepsilon_{ш.в.}$, помножену на коефіцієнт, величина якого залежить від положення регулювального пристрою. Для визначення практичного ступеня стиснення мезги в пресі ФП отримано кінцеве рівняння [190]:

$$\varepsilon_{np}^{np} = 0,97 \left[\varepsilon_{np}^T - (21,8 - 1,16\delta) \right], \quad (1.32)$$

де теоретична ступінь стиснення мезги в пресі:

$$\varepsilon_{np}^T = \frac{10,2\varepsilon_{ш.в.}}{\delta^{0,85}}, \quad (1.33)$$

$\varepsilon_{ш.в.}$ – ступінь стиснення, що створена шнековим валом;
 δ – ширина вихідної щілини (мм), при якій працює прес.

Розподіл тиску вздовж гвинтового валу

Зміна теоретичного ступеня стиснення мезги уздовж гвинтового вала було розглянуто раніше. Однак через наявність коефіцієнта повернення дійсний ступінь стиснення на витках буде інший [191]. Для визначення дійсного ступеня стиснення мезги на витках можна виходити з таких передумов.

Теоретична ступінь стиснення мезги в пресі може бути визначена за формулою (1.33), а практична за емпіричною формулою (1.32).

Так як справжня і теоретична ступінь стиснення мезги на першому витку становить 1, то відношення цих ступенів стиснення мезги на конусі преса визначається, як:

$$v = \frac{\varepsilon_{np}^T - 1}{\varepsilon_{np} - 1}, \quad (1.34)$$

Слід згадати, що таке співвідношення між дійсною і теоретичною ступенями стиснення буде і на пресуючих витках. Тоді з формули (1.34) отримаємо:

$$\varepsilon_6^{np} = 1 + \frac{\varepsilon_6^T - 1}{v}, \quad (1.35)$$

де ε_B^{np} та ε_B^T – практична і теоретична ступінь стиснення мезги на витку;
 v – відношення теоретичної до практичного ступеня стиснення мезги на конусі преса при робочій ширині вихідної щілини.

У форпрес олія віджимається при тиску, що не перевищує 5,0 МПа, хоча тиск на конусі може досягти більшого значення.

Розрахунки показали, що ступінь стиснення в витках гвинтового вала преса ФП по вільному об'єму витків змінюється від 1 до 10,8. Практична ступінь стиснення мезги на витках при ширині вихідної щілини 6 мм змінюється від 1,42 до 8,9; при ширині щілини 8 мм від 1,21 до 6,11 і при щілини 12 мм від 1 до 5,29.

За формулою (1.34) можна визначити дійсний ступінь стиснення на кожному витку, і, отже, можна знайти тиск на ньому. Крім того, за допомогою цього співвідношення можна встановити вплив положення регулювального пристрою на розподіл тиску по довжині гвинтового вала.

На рис.1.2. наведено приклад розподілу тиску по довжині гвинтового вала. Тут видно, що при переході мезги з витка на виток тиск по довжині гвинтового вала плавно зростає, і так триває до останнього витка (до предконусної камери). У предконусній камері тиск може різко збільшуватися, що буде залежати від положення регулювального пристрою.

При зменшенні ширини вхідної щілини (при конусі) тиск в конусі сильно зростає, в той час як тиск на останньому витку зростає незначно.

Таке співвідношення тисків цілком закономірно, так як великий тиск, що виникає на конусі, має на останній виток передаватися по мезгі. Однак мезга є пластичним тілом, тому градієнт тиску в ній дуже великий; отже, тиск по довжині предконусної камери різко зменшується. Крім того, якщо тиску буде піддаватися останній виток, то воно буде сприйматися передньою площиною нитки витка, яка буде перешкоджати розподілу тиску далі по довжині гвинтового вала. Виконані розрахунки повністю підтверджують це.

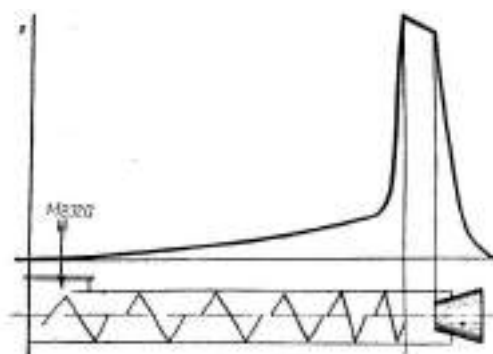


Рис. 1.2. Схема зміни тиску по довжині гвинтового вала [254]

1.2.4. Сили, які діють в розгорнутому каналі шнека

В роботі [194] проведено аналіз процесу пресування на прикладі одного витка гвинтового вала. Наведена методика може бути поширена на преси, що мають вали з декількома витками, на вали зі змінним перетином, а також на приймальний виток. В цьому випадку необхідно розбити всю пресуючу частину машини на ділянки між витками шнека і розглядати явище на кожній ділянці відповідно до наведеної нижче методики.

На рис. 1.3. представлена схема гвинтового преса з двозаходними витками. Хоча в гвинтових пресах в основному застосовуються однозахідні витки, рівняння, що описують процес пресування, виводяться в самій загальній формі, яка застосовується до шнеків при будь-якому числі заходів [195,196]. Для опису руху мезги в робочому каналі гвинтового преса доцільно застосувати метод зверненого руху. Очевидно, що для роботи гвинтового преса байдуже, чи обертається шнековий вал всередині нерухомого зеєра або навпаки, зеєр обертається навколо нерухомого гвинтового вала.

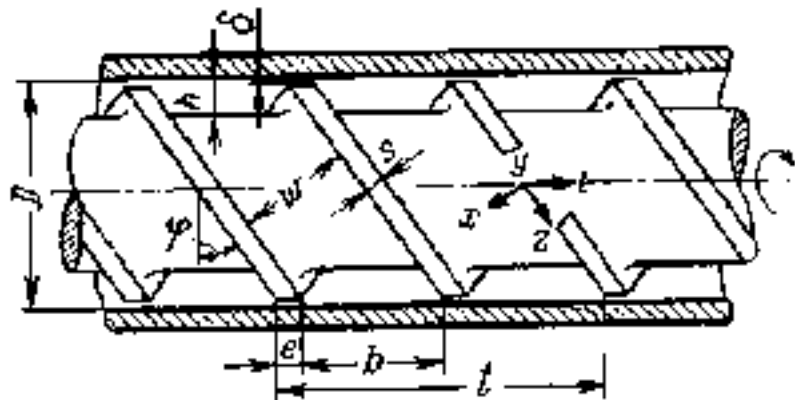


Рис. 1.3. Схема гвинтового преса [254]

З цієї причини для спрощення будемо вважати зеєр обертовим, а шнековий вал нерухомим [195,196]. Розташування пов'язаної з шнековим валом нерухомої системи координатних осей x , y , z і допоміжної осі l показано на рис.1.4. вісь z орієнтована уздовж осі гвинтового каналу гвинтового вала, вісь l – уздовж осі гвинтового вала. При цьому корпус буде зображуватися

нескінченною площиною, що рухається над розгорнутими каналами в перпендикулярному до осі l напрямку.

Окружна швидкість корпусу V_c можна розкласти на дві взаємно перпендикулярні компоненти V_z та V_x , відповідно спрямовані вздовж і впоперек каналу черв'яка.

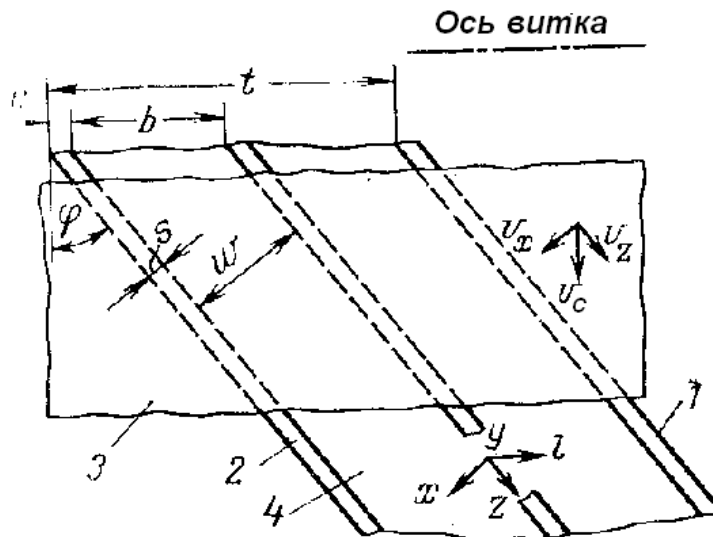


Рис. 1.4. Розгортка гвинтового каналу гвинтового преса на площині [196,254]: 1 – стінка каналу; 2 – розгортка витка; 3 – поверхня корпусу; 4 – канал

Аналогічно, швидкість рідини в будь-якій точці каналу характеризується відповідною величиною взаємно перпендикулярних компонент v_z та v_x . Існування швидкості поперечної течії v_x і одночасне дотримання умови нерозривності течій призводить до виникнення в каналі течії рідини в напрямку осі y зі швидкості v_y .

Величина цієї швидкості особливо значна у передній і задній стінках каналу, у яких рідина, що тече в поперечному напрямку, змінює напрямок течії. При ізотермічному ламінарному режимі в каналі постійного поперечного перерізу зважаючи на малість величини відношення глибини каналу h до його ширини

можна припустити, що швидкість в напрямку каналу v_z є функцією координат x та y . В той час як v_x – функція тільки координати y .

На рис. 1.5. приведена схема поперечного перерізу каналу, де граничні умови представлені особливо наочно.

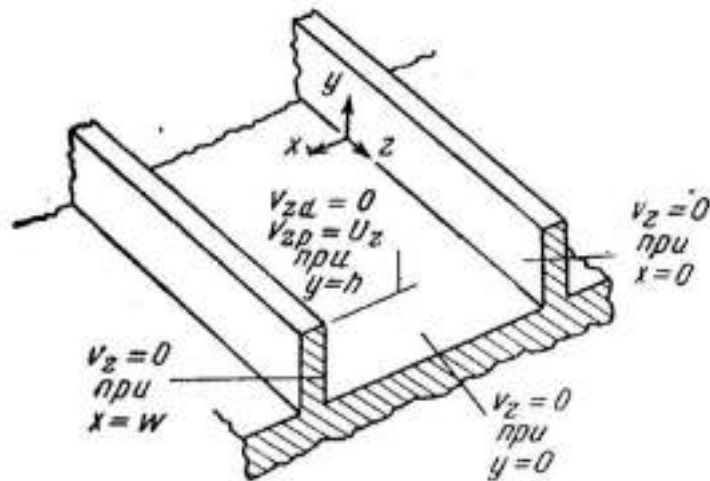


Рис. 1.5. Схема поперечного перетину каналу [196]

На рис. 1.4. представлений розгорнутий канал з напрямком сил, що діють на витки шнека. Нитка витків нахилена під кутом α до торця витка. Тому, питомий тиск при стисненні мезги, що діє по осі розгорнутого каналу [5,196]:

$$P = \frac{2.52b\varepsilon^{5.5}}{e^{0.022w}}, \quad (1.36)$$

При стисненні тіла в замкнутому просторі силою, нормально спрямованою до поверхні, тіла що стискається, в нашому випадку по осі, буде створюватися також радіальний тиск [196]:

$$p_r = kp_H, \quad (1.37)$$

Питомий тиск по осі x зі сторони мезги на бокову поверхню розгорнутого каналу [5,196]:

$$p_x = 0.428p \cos \beta, \quad (1.38)$$

Для мезги було прийнято середнє значення коефіцієнта Пуассона що дорівнює 0,3, тоді коефіцієнт бокового тиску [5,196]:

$$\xi = \frac{0,3}{1-0,3} = 0,428., \quad (1.39)$$

Згідно рис. 1.5, вектор тиску стиснення мезги по осі розгорнутого каналу дорівнює сумарному вектору тисків, нормально спрямований до поверхні передньої грані нитки [5,196]:

$$p = P_{\Sigma} \cos \beta, \quad (1.40)$$

В даному випадку вихідним вектором є вектор p , тоді сумарний вектор [5,196]:

$$P_{\Sigma} = \frac{p}{\cos \beta}, \quad (1.41)$$

Радіальний тиск, направлений від вала до внутрішньої поверхні зєрного барабана [5,196]:

$$p_4 = P_{\Sigma} \sin \beta = p \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (1.42)$$

Отже, повний питомий радіальний тиск [5,196]:

$$p_r = p_4 + p_r' = p(\operatorname{tg} \beta + 0.428), \quad (1.43)$$

Розглянуто сили, що діють в розгорнутому каналі витка.

1). Сила стиснення мезги [196]:

$$P_{\text{сж}} = p \cdot F_{\text{сеч}} = \frac{1}{4} p(a+b)(D-d), \quad (1.44)$$

Визначено довжину розгорнутого каналу по зовнішньому діаметру шнека D . При повному кроці витка t довжина розгорнутого каналу дорівнює гіпотенузі прямокутного трикутника з катетами рівними по довжині кола πD та величині кроку t [5,196]:

$$L_{\text{пол.}} = \sqrt{(\pi D)^2 + t^2}, \quad (1.45)$$

А з урахуванням того, що крок нитки витка більше його довжини:

$$L_{\text{н.пол.}} = L_{\text{пол.}} \cdot l/t, \quad (1.46)$$

де t – крок витка, l – довжина витка, a та b – відповідно нижня і верхня ширина розгорнутого каналу витка.

Аналогічно визначається довжина розгорнутого каналу по малому та середньому діаметрами витка преса.

2). Радіальна сила, спрямована від вала до внутрішньої поверхні зерного барабана, притискає мезгу до цієї поверхні [5,196]:

$$P_{r.з} = p_r \cdot F_3 = p(\text{tg} \beta + 0.428) \cdot a \cdot L_{\text{н.пол.}} \quad (1.47)$$

де a – ширина робочої (внутрішньої) частини зерного циліндра в розгорнутому каналі.

3). Радіальна сила з боку мезги на днище розгорнутого каналу [5,196]

$$P_{r.д} = p_r F_B = p(\text{tg} \beta + 0.428) \cdot b \cdot l_{\text{н.пол.}}, \quad (1.48)$$

де b – ширина днища в розгорнутому каналі.

$$l_{\text{пол}} = \sqrt{(\pi d)^2 + t^2}, \quad (4.49)$$

$$l_{\text{пол}} = \sqrt{(\pi d)^2 + t^2}, \quad (1.50)$$

$$l_{\text{н.пол.}} = l_{\text{пол}} \cdot l/t, \quad (1.51)$$

4). Сила тиску на стінку розгорнутого каналу по осі x [5,196]:

$$P_x = p_x F_{\sigma}, \quad (1.52)$$

де

$$F_{\sigma} = c \cdot l_{\text{н.пол.ср.}} = \frac{D-d}{2 \cos \beta} l_{\text{пол.ср.}} \cdot l/t, \quad (1.53)$$

$$c = \frac{h}{\cos \beta} = \frac{D-d}{2 \cos \beta}, \quad (1.54)$$

$$l_{\text{пол.ср.}} = \sqrt{(\pi d_{\text{ср.}})^2 + t^2}, \quad (1.55)$$

де F_{σ} – площа бокової стінки розгорнутого каналу;

c – висота бокової стінки розгорнутого каналу;

$l_{\text{пол.ср.}}$ – повна довжина бокової стінки розгорнутого каналу по середній лінії;

$l_{\text{пол.ср.}} \cdot l/t$ – довжина бокової стінки розгорнутого каналу з урахуванням

того, що крок нитки більше довжини витка.

Сили тертя в розгорнутому каналі, що виникають при русі мезги

1) Сила тертя на днище розгорнутого каналу [5,196]:

$$T_{д.} = f_1 P_{r.д.} = f_1 p_r F_B = f_1 p (tg\beta + 0.428) \cdot b \cdot l_{н.пол.} \quad (1.56)$$

2) Сила тертя на бічну поверхню розгорнутого каналу [196]

$$T = 2 \cdot f_1 P_x = 2 \cdot f_1 p_x F_{\sigma} = 2 \cdot f_1 0.428 p \cos\beta \cdot \frac{D-d}{2 \cos\beta} l_{пол.сп.} \cdot l/t. \quad (1.57)$$

3) Сила тертя на робочу поверхню зєєра [196]:

$$T_{r.з} = f_2 P_{r.з} = f_2 p_r \cdot F_3 = f_2 p (tg\beta + 0.428) \cdot a \cdot L_{н.полн.} \quad (1.58)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя мезги на внутрішню порожнину розгорнутого каналу;

f_2 – коефіцієнт тертя мезги на внутрішню порожнину зєєра.

Складено рівняння руху мезги по розгорнутому каналу з урахуванням сил тертя, опору стисненню «скелета» мезги, нейтрального тиску і протитиску на виході.

Спроектували всі сили на вісь z розгорнутого каналу всіх витків гвинтового вала і прирівнюючи результуючу суму до перепаду тиску в голівці (пристрої для регулювання товщини ракушки), отримано [196]:

$$\sum_1^n (P_{сжи} + T_{ди} + T_{би} + T_{рзи}) = \Delta p_{Г} \quad (1.59)$$

де n – число витків;

$\Delta p_{Г}$ – перепад тиску в голівці (пристрої для регулювання товщини ракушки).

Підставивши у вираз (1.59) значення вхідних величин отримано [196]:

$$\sum_1^n (pF_i + p \cdot A_{ди} + pA_{\sigma i} + pA_{r3i}) = \Delta p_{\Gamma}, \quad (1.60)$$

де

$$A_{ди} = f_1 (tg\beta + 0.428) \cdot b \cdot l_{н.пол.}; \quad (1.61)$$

$$A_{\sigma i} = f_1 0.428 \cos\beta \cdot \frac{D-d}{2 \cos\beta} l_{пол.ср.} \cdot l/t. \quad (1.62)$$

$$A_{r.3} = f_2 (tg\beta + 0.428) \cdot a \cdot L_{н.полн.} \quad (1.63)$$

Перепад тиску в голівці при відомих значеннях продуктивності і коефіцієнті геометричної форми головки K визначають за формулою [197]

$$\Delta p_{\Gamma} = \frac{Q\mu_e}{K}, \quad (1.64)$$

де Q – продуктивність, $см^3/с$;

μ_e – ефективна в'язкість, $кг \cdot с/см^2$

K – коефіцієнт геометричної форми головки, $см^3$.

Формули, засновані на спрощеному аналітичному методі розрахунку коефіцієнтів геометричної форми, дозволяють визначити характеристики каналів найпростіших форм з достатньою для практичних розрахунків точністю [198,199].

Кільцевий канал:

$$K_o = \frac{\pi}{8L} \left[R_H^4 - R_B^4 - \frac{(R_H^2 - R_B^2)^2}{\ln \frac{R_H}{R_B}} \right] см^3, \quad (1.65)$$

де R_H – зовнішній радіус кільцевого каналу, $см$;

R_b – внутрішній радіус кільцевого каналу, см;

L – довжина кільцевого каналу, см.

Конічний кільцевий канал з конічною щілиною [198,199]:

$$K_\delta = \frac{\pi(R_o\delta_2 - R_1\delta_1)}{6Lm}, \quad (1.66)$$

де m – коефіцієнт визначається по формулі

$$m = \frac{(R_o - R_1)^2}{(R_o\delta_2 - R_1\delta_1)^2} \ln \frac{R_o\delta_2}{R_1\delta_1} - \frac{(R_o - R_1)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_o\delta_2 - R_1\delta_1)\delta_1\delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2\delta_2^2}, \quad (1.67)$$

де R_1 – середній радіус кола на виході матеріалу з кільцевої щілини, см;

R_o – середній радіус кола на вході матеріалу в кільцеву щілину, см;

δ_1 – висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину, см;

δ_2 – висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини, см;

L – довжина конічного кільцевого каналу з конічною щілиною, см.

Таким чином, використовуючи метод зверненого руху мезги в розгорнутому каналі окремого шнека, ми маємо можливість спростити гідродинаміку руху мезги в пресуючій частині шнека замінивши їх окремими ділянками.

1.2.5. Математична модель процесу консолідації при виділенні олії в гвинтовому пресі

Математична модель процесу заснована на теорії тривимірної консолідації оброблюваної сировини з урахуванням реологічних властивостей «скелета» мезги. При цьому можна вважати, що повзучість «скелета» мезги і

фільтраційний рух олії відбуваються одночасно. Потрібно знайти раціональний закон консолідації в кожному шнечку і кількість шнечків на валу преса і вимоги до підготовки мезги при вологотепловій обробці м'ятки. При розрахунку якісні показники олії і макухи забезпечуються обмеженням поєднання максимальної температури і вологості оброблюваної сировини[2,3,5].

Наближений підбір параметрів результатів експериментальних досліджень В.А. Маслікова [201] в Curve Fitting Toolbox (MATLAB) дозволили уточнити залежність питомого тиску від ступеня стиснення при різній температурі і вологості соняшникової мезги. Отримані залежності описуються експонентними функціями з довірчою ймовірністю 95% і кореляційними відносинами $\eta_{y/x} = 0,999$:

$$p = a_1 \exp\left(-\left((\varepsilon_v - b_1)/c_1\right)^2\right). \quad (1.68)$$

Параметри експериментальних функцій залежності питомого тиску від ступеня стиснення представлені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Параметри експериментальних функцій
залежності питомого тиску від ступеня стиснення мезги [253]

Вологість мезги, W, %	Параметри функцій			Вологість мезги W, %	Параметри функцій		
	a_1	b_1	c_1		a_1	b_1	c_1
6,55	137,00	6,010	0,371	0,945	137,00	3,590	0,258
1,80	137,00	4,010	0,278	0,22	137,00	3,490	0,269

Рівнянням (1.68) можна перевірити припущення про вплив температури жаріння на пружні властивості мезги. Так при вологості 4.0% і ступені стиснення 5,0 отримаємо: для температури 80°C питомий тиск $p = 114,5 \text{ кг/см}^2$; для 90°C $p = 130 \text{ кг/см}^2$; для 100°C $p = 81 \text{ кг/см}^2$. Зі зростанням температури

жаріння з 80°C до 90°C пружні властивості мезги ростуть, з підвищенням температури жаріння з 90°C до 100°C ростуть пластичні властивості. Недостатньо високі пружні властивості мезги, вижареної при 80°C, пояснюються неповною денатурацією білкової частини мезги. Підвищена ж пластичність мезги, вижареної при 100°C, пояснюється частковим плавленням найпростіших білків білкового комплексу мезги. Мезга ж, вижарена при 90°C, має найбільш повну денатурацію білків без плавлення найпростіших. Таким чином, соняшникову мезгу, що йде на форпресування, необхідно вижарювати при 90°C, тоді при інших рівних умовах тиск в пресі більший, а це сприяє більш глибокому зніманню олії, що підтверджується практикою роботи пресів і технологічних інструкцій.

Однак при розгляді ущільнення «скелета» оброблюваного матеріалу, наростання повзучих деформацій доцільно описати залежністю, що характеризує зміну коефіцієнта пористості матеріалу [187] від питомого тиску.

Коефіцієнт пористості визначається як відношення обсягу пор до обсягу твердої фази «скелета» матеріалу (мезги) [253]

$$\varepsilon = \frac{V_{\Pi}}{V_{\Gamma}}, \quad (1.69)$$

де V_{Π} , V_{Γ} – відповідно об'єм пор і об'єм твердої фази.

Якщо прийняти, що об'єм твердої фази мезги V_{Γ} дорівнює об'єму мезги після виходу з останнього витка преса V_n , тобто $V_n = V_{\Gamma}$, то об'єм пор в k -ому витку $V_{\Pi} = V_k - V_n$. V_k – об'єм мезги в k -ому витку. Об'єм пор $V_{\Pi} = V_M + V_B$, де V_B – обсяг вільного повітря, сполученого з атмосферою, можливо частина з нього затиснена, тобто що не пов'язана з атмосферою. V_M – об'єм, займаний олією, що заповнює пори «скелета».

Статистична обробка експериментальних даних дозволила отримати ряд залежностей коефіцієнтів пористості мезги. На рис.1.6 наведені залежності

коефіцієнтів пористості від питомого тиску в діапазоні від 0 до 137 кг/см² при температурі жаріння та пресування мезги 90⁰С та різної вологості [253].

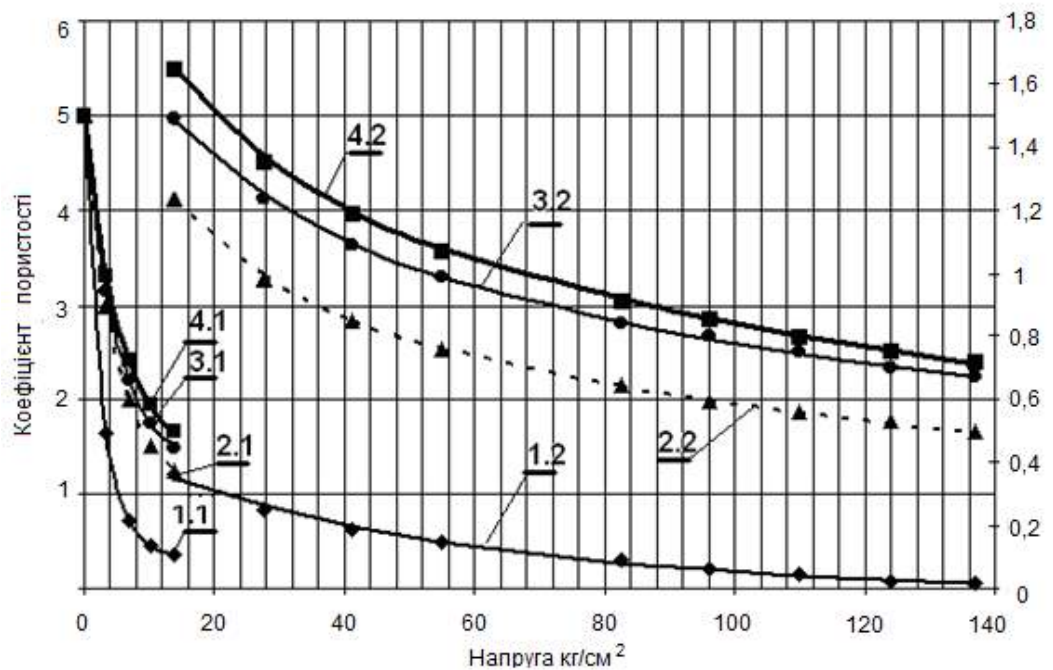


Рис 1.6. Залежність зміни коефіцієнта пористості від питомого тиску в діапазоні від 0 кг/см² до 137 кг/см² при температурі жаріння та пресування мезги 90⁰С: 1 – вологість 6,55%, 2 – вологість 1,8%, 3 – вологість 0,945%, 4 – вологість 0,22%

Як видно з рис.1.6 діапазон зміни питомого тиску і коефіцієнта пористості великий для отримання більш точної апроксимації і її параметрів. Тому розглянутий діапазон розбили на дві частини: питомим тиском до 13,75 кг/см² і з питомим тиском вище 13,75 кг/см². Наведені залежності описуються експонентними функціями

$$\varepsilon = a \cdot \exp(b \cdot \sigma) + c \cdot \exp(d \cdot \sigma), \quad (1.70)$$

де ε – коефіцієнт пористості;

σ – питомий тиск в меззі, кг/см²;

a, b, c, d – параметри експоненціальної функції.

Отримані параметри експоненційних функцій залежно від коефіцієнтів пористості і від питомого тиску представлені в табл.1.3.

Таблиця 1.3

Параметри експоненційних функцій
залежно від коефіцієнту пористості та від питомого тиску [253]

Коефіцієнти при вологості W%	Температура, град.С					
	80		90		100	
	0 – 13,75 кг/см ²	13,75-137 кг/см ²	0 – 13,75 кг/см ²	13,75-137 кг/см ²	0 – 13,75 кг/см ²	13,75-137 кг/см ²
W	4,31	4,31	6,55	6,55	2,02	2,02
a	4,257	0,121	4.551	-9.88E-04	4,037	1,474
b	-3,05E-01	-3,02E-02	-3.90E-01	1,70E-02	-2,32E-01	-1,48E-01
c	0,752	0,698	0.459	0.467	0,973	0,943
d	-1,61E-02	-1,43E-02	-2.22E-02	2.06E-02	-6,77E-03	-6,59E-03
W	1,88	1,88	1,8	1,8	1,6	1,6
a	3,891	1,266	3,953	0,748	3,892	0,603
b	-2,16E-01	-1,88E-02	-2,07E-01	-4,71E-02	-2,21E-01	-4,69E-02
c	1,119	0,193	1.057	0.889	1,118	0,942
d	-8,60E-03	-4,55E-03	-3.22E-03	-4.26E-03	-6,28E-03	-5,15E-03
W	0,51	0,51	0,945	0,945	0,5	0,5
a	3,614	0,792	3,834	0.752	3,6	0,888
b	-2,04E-01	-3,25E-02	-1,98E-01	-3,81E-02	-1,96E-01	-7,00E-02
c	1,397	1,031	1.178	1,089	1,411	1,280
d	-5,87E-03	-3,13E-03	4.09E-03	-3,57E-03	-6,85E-03	-5,74E-03
W	0,16	0,16	0,22	0,22	0,4	0,4
a	3,463	0,856	3,597	0,822	3,623	0,797
b	-1,84E-01	-4,74E-02	-1,87E-01	-4,59E-02	-1,93E-01	-4,45E-02
c	1,547	1,269	1,415	1,282	1,388	1,158
d	-8,05E-03	-4,00E-03	-1,58E-03	-4,31E-03	-5,46E-03	-4,02E-03

Закон стиснення в гвинтовому пресі визначався на основі експериментальних даних процесу фільтрації (консолідації) в лабораторних умовах (рис. 1.7).

На підставі встановленого закону стиснення визначається питомий тиск в кожному витку гвинтового вала, і на підставі цього визначаються всі перераховані діючі сили [253].

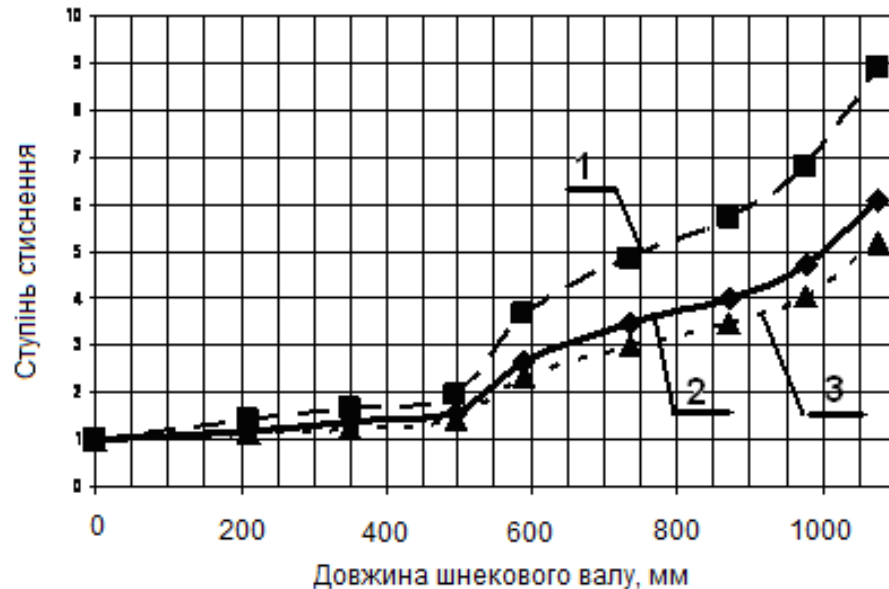


Рис 1.7. Ступінь стиснення мезги на витках гвинтового преса при ширині вихідної щілини: 1 – 6 мм, 2 – 8 мм, 3 – 10 мм

При роботі всередині зєра виникають п'ять течій: вимушений потік (пряма течія), протитечія, циркуляційний потік і дві течії витоків одна в зазорі між вершиною нитки і внутрішньої поверхнею зєра, другий в куту розриву нитки витка. Гідродинаміка всіх п'яти течій, особливо течій витоків, впливає на ступінь стиснення мезги в робочій порожнині витків.

Для проведення числових досліджень отриманих рівнянь гідродинаміки необхідно експериментально визначити реологічні константи індексу течії і індексу її олійності і щільності мезги різного насіння при зміні режимів вологотеплової підготовки. Однак виток легко визначається експериментально-розрахунковим шляхом через коефіцієнти повернення. На рис.4.9 наведені результати розрахунків ступеня стиснення мезги на витках гвинтового преса при різній ширині вихідної щілини.

Надалі для спрощення розрахунку порової рідини вважатимемо її нестисненою. Приймаємо, що порова рідина не підкоряється зсувним деформаціям. Таким чином, в ній виникає лише гідродинамічний тиск p .

Для спрощення розрахунку приймаємо, що тиск в поровій рідині не викликає в «скелету» мезги додаткову деформацію.

У мезгі, повністю насиченій олією, співвідношення фаз в одиниці об'єму, очевидно, контролюється її коефіцієнтом пористості $\varepsilon = V_{\text{п}}/V_{\text{т}}$. Вільне нестиснене повітря, безпосередньо сполучається із зовнішньою атмосферою, не вимагає додаткового великого тиску при консолідації мезги. З причини малих швидкостей переміщення обох фаз фільтрації течій вважаємо ламінарним.

Рівняння нерозривності мезги в цілому [2,5,253]:

$$\left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = 0. \quad (1.71)$$

У разі процесу пресування мезги і фільтрації олії через шар мезги, що переміщується по поверхні гвинтового вала «скелет» мезги деформується і, отже, знаходиться в русі щодо порової рідини. Процес фільтрації для такого випадку описується залежністю Дарсі - Герсеванова [5,188,253]

$$\left. \begin{aligned} u_x - \varepsilon v_x &= -k \left(\frac{\partial H}{\partial x} - i_0 \right); \\ u_y - \varepsilon v_y &= -k \left(\frac{\partial H}{\partial y} - i_0 \right); \\ u_z - \varepsilon v_z &= -k \left(\frac{\partial H}{\partial z} - i_0 \right); \end{aligned} \right\}, \quad (1.72)$$

де k – коефіцієнт фільтрації (знак мінус вказує, що рух рідини направлено в сторону зменшення напорів);

H – напір;

i_0 – початковий градієнт напору.

Диференціюючи рівняння Дарсі-Герсеванова (1.72) для напрямків, отримаємо систему (1.73) [2,5,253]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u_x}{\partial x} - \varepsilon_x \frac{\partial v_x}{\partial x} - v_x \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} &= -\frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial H}{\partial x}, \\ \frac{\partial u_y}{\partial y} - \varepsilon_y \frac{\partial v_y}{\partial y} - v_y \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} &= -\frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial H}{\partial y}, \\ \frac{\partial u_z}{\partial z} - \varepsilon_z \frac{\partial v_z}{\partial z} - v_z \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} &= -\frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial H}{\partial z}. \end{aligned} \right\} \quad (1.73)$$

Підсумовуємо рівняння (1.73) з урахуванням рівняння нерозривності рідкої фази, отримаємо рівняння фільтрації олії через шар мезги в гвинтовому пресі в декартовій прямокутній системі координат [2,5,253]:

$$\varepsilon \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \left(v_x \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v_y \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + v_z \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial H}{\partial z} \right). \quad (1.74)$$

Напір визначається з відомої залежності [2,253]

$$H = \frac{p}{\gamma} + z, \quad (1.75)$$

де p – гідродинамічний тиск в поровій рідині;

γ – питома вага порової рідини (олії);

z – висота над площиною порівняння.

При постійних величинах коефіцієнтів фільтрації, k_x та k_y по осям відповідно x , y и k_z в осьових напрямках, нестисненої порової рідини [5,253]:

$$\frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial p}{\partial z} \right) = k_\rho \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right) + k_z \frac{1}{\gamma} \frac{\partial^2 p}{\partial z^2}. \quad (1.76)$$

Тоді рівняння фільтрації нестисливої рідини (олії) (1.74) в деформованому середовищі мезги в декартових координатах прийме наступний вигляд [5,253]:

$$\varepsilon \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \left(v_x \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v_y \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + v_z \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) = k_\rho \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right) + k_z \frac{1}{\gamma} \frac{\partial^2 p}{\partial z^2}. \quad (1.77)$$

У пресованій масі має місце дві системи тиску: нейтральна і ефективна, а їх сума становить повний гідростатичний тиск. Нейтральний тиск визначається напором фільтруємої олії, ефективний тиск сприймається «скелетом» мезги. Розробка теорії про розподіл для будь-якого моменту часу тиску в поровій рідині є основним завданням теорії консолідації. Тому для використання отриманого рівняння фільтрації необхідно вивести рівняння консолідації мезги, за яким можна визначити нейтральний тиск в робочій зоні преса.

Продиференціюючи залежність (1.73) по декартовим осям координат:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} &= \left[ab \exp(b\sigma_{\Sigma_x}) + cd \exp(d\sigma_{\Sigma_x}) \right] \frac{\partial \sigma_{\Sigma_x}}{\partial x}; \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} &= \left[ab \exp(b\sigma_{\Sigma_y}) + cd \exp(d\sigma_{\Sigma_y}) \right] \frac{\partial \sigma_{\Sigma_y}}{\partial y}; \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} &= \left[ab \exp(b\sigma_{\Sigma_z}) + cd \exp(d\sigma_{\Sigma_z}) \right] \frac{\partial \sigma_{\Sigma_z}}{\partial z}; \end{aligned} \quad (1.78)$$

де $\sigma_{\Sigma_x}, \sigma_{\Sigma_y}, \sigma_{\Sigma_z}$ – сумарний питомий тиск на «скелет» мезги і гідродинамічний тиск олії.

Підставляючи значення (1.73) і (1.77) в рівняння (1.78) отримаємо рівняння консолідації мезги в гвинтовому пресі в декартовій системі координат в такому вигляді:

$$\begin{aligned}
& \left[a \cdot \exp(b \cdot \sigma) + c \cdot \exp(d \cdot \sigma) \right] \frac{\partial v_x}{\partial x} + \left[a \cdot \exp(b \cdot \sigma) + c \cdot \exp(d \cdot \sigma) \right] \frac{\partial v_y}{\partial y} + \\
& + \left[a \cdot \exp(b \cdot \sigma) + c \cdot \exp(d \cdot \sigma) \right] \frac{\partial v_z}{\partial z} + v_x \left[ab \exp(b \sigma_\Sigma) + cd \exp(d \sigma_\Sigma) \right] \frac{\partial \sigma_\Sigma}{\partial x} + \\
& + v_y \left[ab \exp(b \sigma_\Sigma) + cd \exp(d \sigma_\Sigma) \right] \frac{\partial \sigma_\Sigma}{\partial y} + v_z \left[ab \exp(b \sigma_\Sigma) + cd \exp(d \sigma_\Sigma) \right] \frac{\partial \sigma_\Sigma}{\partial z} = \\
& = k_\rho \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right) + k_z \frac{1}{\gamma} \frac{\partial^2 p}{\partial z^2}.
\end{aligned} \tag{1.79}$$

$$k_\rho \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right) + k_z \frac{1}{\gamma} \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = q(x, y, z). \tag{1.80}$$

де

$$\begin{aligned}
q(x, y, z) &= \left[a \cdot \exp(b \cdot \sigma) + c \cdot \exp(d \cdot \sigma) \right] \frac{\partial v_x}{\partial x} + \left[a \cdot \exp(b \cdot \sigma) + c \cdot \exp(d \cdot \sigma) \right] \frac{\partial v_y}{\partial y} + \\
& + \left[a \cdot \exp(b \cdot \sigma) + c \cdot \exp(d \cdot \sigma) \right] \frac{\partial v_z}{\partial z} + v_x \left[ab \exp(b \sigma_\Sigma) + cd \exp(d \sigma_\Sigma) \right] \frac{\partial \sigma_\Sigma}{\partial x} + \\
& + v_y \left[ab \exp(b \sigma_\Sigma) + cd \exp(d \sigma_\Sigma) \right] \frac{\partial \sigma_\Sigma}{\partial y} + v_z \left[ab \exp(b \sigma_\Sigma) + cd \exp(d \sigma_\Sigma) \right] \frac{\partial \sigma_\Sigma}{\partial z}.
\end{aligned} \tag{1.81}$$

На початку процесу ущільнення олієнасиченою мезги миттєво виникають дотичні напруження при відсутності об'ємних деформацій і подальше поступове наростання тільки об'ємних деформацій і відповідних їм нормальних напружень, при незмінних дотичних напруженнях.

Відповідно до цього напруги в мезгі можуть бути для будь-якого моменту часу записані у вигляді [253,255]:

$$\left. \begin{aligned}
\sigma_{\Sigma x} &= \sigma_x + p, \\
\sigma_{\Sigma y} &= \sigma_y + p, \\
\sigma_{\Sigma z} &= \sigma_z + p,
\end{aligned} \right\} \tag{1.82}$$

де $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, p$ – напруги в «скелеті» мезги та порового тиску в олії.

Підставивши у вираз (1.81) значення (1.82), отримано:

$$\begin{aligned}
 q(x, y, z) = & \left\{ a \cdot \exp[b(\sigma_x + p)] + c \cdot \exp[d(\sigma_x + p)] \right\} \frac{\partial v_x}{\partial x} + \\
 & + \left\{ a \cdot \exp[b(\sigma_y + p)] + c \cdot \exp[d(\sigma_y + p)] \right\} \frac{\partial v_y}{\partial y} + \\
 & + \left\{ a \cdot \exp[b(\sigma_z + p)] + c \cdot \exp[d(\sigma_z + p)] \right\} \frac{\partial v_z}{\partial z} + \\
 & + v_x \left\{ ab \cdot \exp[b(\sigma_x + p)] + cd \cdot \exp[d(\sigma_x + p)] \right\} \frac{\partial \sigma_\Sigma}{\partial x} + \\
 & + v_y \left\{ ab \cdot \exp[b(\sigma_y + p)] + cd \cdot \exp[d(\sigma_y + p)] \right\} \frac{\partial \sigma_\Sigma}{\partial y} + \\
 & + v_z \left\{ ab \cdot \exp[b(\sigma_z + p)] + cd \cdot \exp[d(\sigma_z + p)] \right\} \frac{\partial \sigma_\Sigma}{\partial z}.
 \end{aligned} \tag{1.83}$$

Таким чином, було отримано еліптичний тип рівняння Пуассона в приватних похідних. Рішення рівняння (1.83) зводиться до задачі Діріхле - Неймана. У цьому завданні крайові умови на частини поверхні задаються функцією, що шукається p -тиском (задача Діріхле), а на частині поверхні задаються значення похідної $\frac{\partial p}{\partial n}$ – потоку через поверхню (завдання Неймана).

Ми отримали два еліптичних рівняння Пуассона в приватних похідних.

У випадку, що досліджується, нижня, ліва і права поверхні кордону непроникні. Нормальні граничні умови для непроникних кордонів мають вигляд [2,5,253]:

$$\frac{\partial}{\partial z} p(z_n, r_j) = p_z(z_n, r_j) = 0. \tag{1.84}$$

На проникному кордоні умови звичайно задаються або в швидкостях течій, або в тисках. У даному випадку проникною межею є циліндрична поверхня зеєра. Граничну умову зручно задати в швидкостях у вигляді (завдання Дирихле) [2,5,253]:

$$v_n = -k_\phi \left(\frac{\partial p}{\partial x_n} \right) \Big|_\Sigma. \quad (1.85)$$

Значення нормальної складової швидкості повинно бути відоме для всіх точок кордону і для всього інтервалу часу.

Таким чином:

Використовуючи нове уявлення про одночасно протікаючі взаємопов'язані процеси віджиму мезги і фільтрації олії в робочій зоні витків гвинтового преса, досліджено математичну модель, що описує процеси зміни пористості мезги і гідродинамічного тиску в олії, що заповнює пори «скелета» мезги. Для замикання системи диференціальних рівнянь отримано нове реологічне рівняння, що описує взаємозв'язок коефіцієнта пористості від сумарного питомого тиску при різній температурі і вологості жаріння і пресування мезги.

Для проведення числових досліджень на підставі отриманої моделі необхідно провести додаткові експериментальні дослідження по визначенню наступних реологічних властивостей мезги: залежності між в'язкістю маси і різними параметрами, що впливають на неї, - олійністю, температурою, швидкістю зсуву і тривалістю зовнішніх впливів; залежності коефіцієнтів фільтрації олії від коефіцієнтів пористості; об'єм вільного повітря в меззі.

1.3. Аналіз способів та конструкцій апаратів для очищення віджатої з рослинної сировини олії

Проблема очищення рослинних олій є складовою частиною проблем, які пов'язані з очищенням рідин, які використовуються як в промисловості, так і в сільському господарстві. Зокрема в технологіях агропромислового комплексу проблема пов'язана із очищенням рідин зустрічається в тваринництві при утилізації стоків, при переробці молока, в технологічних процесах переробки фруктів, ягід, винограду, буряку, ефіроолійних культур, в технологіях відновлення технічних рідин [41, 42, 43, 44]. На теперішній час розроблено і

впроваджено у виробництво велику кількість методів механічного, хімічного, фізичного, фізико-хімічного та біохімічного способів очищення рідин.

Відповідно до цього всі технічні засоби очищення також можна розділити на дві основні групи. До першої групи засобів очищення належать гідравлічні фільтри: різні щілисті, сітчасті, паперові, картонні, тканинні, фетрові, металокерамічні, фільтри з різних волокнистих і зернистих пресованих матеріалів та пластмас, а також гідродинамічні фільтри. До другої групи засобів належать поля: гравітаційне, відцентрове, магнітне, електричне та ультразвукове. З іншого боку методи і засоби очищення можна класифікувати за способом впливу на дисперсну систему (рис. 1.8).

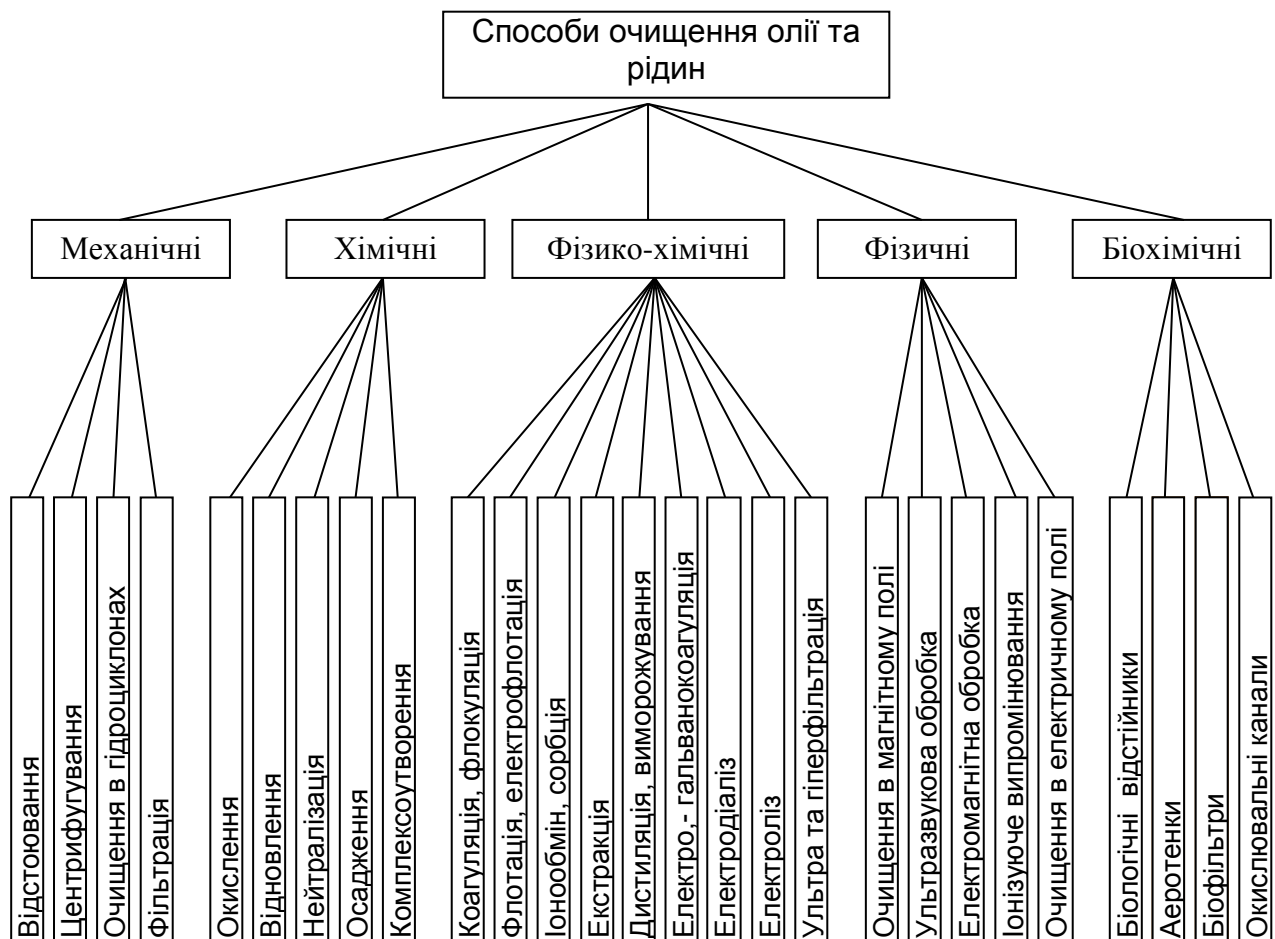


Рисунок 1.8. Класифікація способів очищення олій та рідин [47,65]

Основними характеристиками апаратів для очищення олій та рідин є:

- 1) кількість домішок, що утримуються або вилучаються з рідини у співвідношенні до вихідної кількості;
- 2) кількість домішок, що розділяються та утримуються або вилучаються з рідини у співвідношенні до вихідної кількості;
- 3) продуктивність - витрата рідини через очищувач або сепаратор;
- 4) тонкість очищення або сепарації - мінімальний розмір частинок, що повністю вилучаються з рідини;
- 5) питомі витрати енергії - витрати енергії на очищення або сепарацію одиниці об'єму рідини.

Показники очищення залежать від багатьох факторів, основні з яких: фізико-хімічні властивості; температура, продуктивність та ін.

Основні методи очищення олій та рідин, викладені в джерелах [41, 45, 42, 46, 44, 47] ряд із них, мають перспективи розвитку та широкого застосування в технологічних процесах.

Найпростішим методом очищення олій і рідин є відстоювання. В цьому методі використовується гравітаційна сила. Розроблено декілька типів відстійників (вертикальні, горизонтальні, радіальні, багатоярусні та інші). Такі апарати використовуються для очищення широкого спектру рідин, до яких не ставляться жорсткі вимоги тонкості; стічних вод, грубого очищення стоків, виноматеріалів, олій та інших продуктів. Недоліком такого методу очищення є невелика сила, що діє на частинки, та залежність показників очищення від густини речовини частинок і рідини.

При очищенні в гідроциклонах використовують відцентрову силу, що діє на зважену частинку при закручуванні потоку рідини. Порівняно з відстоюванням, в гідроциклонах отримують механічні сили на порядок, а в центрифугах, на декілька порядків вище, що дає змогу видаляти тонкодисперсні частинки. Центрифуги використовують в технологіях очищення соків, виноматеріалів, рослинних олій, паливо-мастильних матеріалів, сепарації молока та інших продуктів. Недоліком цього методу є великі затрати енергії на організацію кругового руху рідини разом з ротором

центрифуги, наявність рухомих вузлів, висока вартість обладнання.

Очищення рідин фільтрацією засновано на утриманні зважених частинок пористими перегородками з різноманітних матеріалів. Цей метод знайшов широке застосування в паливних та мастильних системах двигунів внутрішнього згоряння, в технологічних процесах виготовлення соків, виноматеріалів, олій, при очищенні стічних вод, підготовці питної води та ін. Основними недоліками методу є: потреба в заміні або відновленні фільтрувальних елементів; зміна продуктивності в процесі експлуатації фільтрувального елементу; нестабільність показників очищення та потреба в забезпеченні високого тиску на фільтрі, що приводить до значних витрат енергії, особливо для в'язких рідин.

Коагуляція і флокуляція частіше всього використовуються при відстоюванні для інтенсифікації процесу. Методи використовуються для очищення питної води, для освітлення соків, очищення стічних вод та ін. Недоліками методів є вплив реагентів на рідину та обмежена область застосування.

Флотаційне очищення засноване на виносі бульбашками газу зважених частинок на поверхню рідини. Відповідно до методів отримання бульбашок газу існують наступні способи флотаційного очищення:

- флотація бульбашками, що утворюються шляхом механічного дроблення повітря або іншого газу;
- флотація бульбашками, що утворюються з перенасиченого розчину повітря в рідині (вакуумна або напірна);
- електрофлотація.

Флотація застосовується в технологіях виробництва соків, при очищенні стічних вод, при збагаченні корисних копалин. Видалення пінного шару з поверхні рідини потребує додаткових пристроїв, що ускладнює апарати очищення. Крім того, процес утворення комплексів бульбашка-зважена частинка залежить від фізико-хімічних властивостей цих компонентів і в багатьох випадках взагалі неможливий.

Очищення олій та рідин за допомогою сорбції та іонообміну, в більшості випадків, застосовують для стічних вод та питної води з метою видалення розчинених сполук. Для очищення рідин від розчинених сполук також використовують метод екстракції за допомогою екстрагента, в якому розчинність речовини, що видаляється, більша, ніж в рідині. Ці методи не дозволяють вилучати з рідини тверді частинки.

Очищення дистиляцією та виморожуванням застосовуються для дисперсних систем та рідких сумішей, в яких речовини мають різні температури кипіння або кристалізації. Ці методи енергоємні (питомі витрати енергії, зокрема на випаровування води складають $2,72 \cdot 10^6$ Дж/кг) і використовуються в специфічних хімічних та харчових технологіях, наприклад, отримання спиртів, ефірів, видалення воску з рослинних олій, парафіну з нафтопродуктів.

Метод електрокоагуляції полягає в отриманні коагулянтів - гідроксидів металів при їх анодному розчиненні. Він застосовується для очищення води від колоїдних та дрібнодисперсних домішок. Область його застосування обмежена рідинами, в яких процеси електролізу на електродах допускаються технологічними умовами.

Електродіаліз та мембранний електроліз застосовують для очищення та опріснення води за допомогою електромембран. Область їх застосування розповсюджується як на промисловість, медицину, так і на сільське господарство: опріснення поливної води, видалення солі з сироватки при переробці молока, видалення з води нітратів, нітритів та інших речовин.

В електролізних установках очищення води здійснюється за рахунок декількох наступних процесів: окислення на аноді, електрокоагуляції, електрофорезу колоїдних частинок, електрофлотації. Ефективність процесу залежить від складу рідини та властивостей ДФ.

Методи електрокоагуляції, електродіалізу та електролізу обмежені використанням для рідких продуктів на основі води.

Ультра - та гіперфільтрація належать до мембранних технологій і

полягають в молекулярному розділенні розчинів під високим тиском. Питомі витрати енергії на здійснення процесу менші ніж при випаровуванні, але теж залишаються високими і складають величину порядку 10^4 Дж/кг, а для в'язких рідин - значно більші.

Для очищення води, зокрема стічної, знайшли застосування біологічні методи, що ґрунтуються на безперервному культивуванні мікроорганізмів, які використовують органічні та деякі неорганічні сполуки в якості субстрату для харчування. До технічних засобів, що здійснюють біологічний метод очищення, належать біологічні відстійники, аеротенки, біофільтри та окислювальні канали.

В технологічних процесах багатьох галузей народного господарства знайшли застосування фізичні методи очищення і сепарації рідин. В цих пристроях використовується силова дія полів: магнітного, ультразвукового, електромагнітного, електричного та іонізуючого випромінювання.

Магнітна обробка застосовується для рідин з домішками у вигляді феромагнітних частинок різних розмірів. Використовуються магнітні фільтри, відстійники та гідроциклони. Недоліком цього методу є вибірковість дії магнітного поля на частинки з певною магнітною проникністю.

Ультразвукова обробка, з метою очищення рідин, пов'язана зі специфічними ефектами, що виникають в рідині під впливом ультразвукового поля: кавітацією, коагуляцією, акустичними течіями та іншими. Ці ефекти дозволяють інтенсифікувати процеси: відстоювання, фільтрації, коагуляції, флокуляції, флотації [48, 49, 50, 51].

Недоліком цього методу є складність, велика вартість ультразвукового обладнання, енергоємність, нестабільність процесу та підвищені експлуатаційні вимоги. Він застосовується при очищенні соків, для прискорення кристалізації винного каменя, очищення рідин напірною флотацією як фактор, що інтенсифікує основний процес [49, 50].

При електромагнітній обробці використовують як силову дію електромагнітного поля на зважені частинки, так і теплову, що приводить до порушення стійкості деяких дисперсних систем. Метод не знайшов широкого

застосування, але може бути перспективним для очищення і сепарації певних рідин.

Іонізуюче випромінювання може використовуватися як фактор, що інтенсифікує коагуляцію, відстоювання та електрохімічні методи, і таким чином впливає на процеси очищення.

Методи очищення рідин в електричному полі ґрунтуються на осадженні зважених частинок на електродах під дією сил електричного поля. Безпосереднє використання електричного поля не тільки робить можливим проведення глибокого очищення рідини при високій продуктивності устаткування, але і забезпечує енерговигідність процесу, простоту конструкцій апаратів, дозволяє механізувати і автоматизувати їх роботу [53, 54, 55, 56, 57, 58, 59]. Крім того, електрична обробка може впливати на процеси масообміну, зокрема інтенсифікувати випаровування летючих речовин [60, 61, 62].

Проте цей метод застосовують вибірково. Наприклад, метод не знайшов розповсюдження в процесах переробки рідких продуктів сільськогосподарського виробництва. Основна причина цього полягає в тому, що більшість цих рідин - електроліти. При створенні електричного поля в таких рідинах виникають електрохімічні реакції, що змінюють хімічний склад продукту і часто погіршують його якість.

Полярizaційні явища, що виникають під дією електричного поля в електролітах, не дозволяють подавати велику напругу на електроди і тим самим обмежують продуктивність процесу. Як правило, напруженість поля в таких випадках не перевищує 10^4 В/м. В цьому відношенні електричні очищення неполярних рідин є перспективними. Їх діелектричні властивості дозволяють подавати високу напругу на електроди і не побоюватися хімічних змін, що виникають під дією поля [63, 64]. Електрохімічні реакції в неполярних рідинах практично не відбуваються. В технологічних процесах переробки продукції сільського господарства до таких рідин належать рослинні олії, тваринні жири, їх розчини, місцели, синтетичні і натуральні рідкі запашні речовини та інші продукти. Застосування електричного очищення перспективне і для ефірних

олій [65] та нафтопродуктів [66, 67, 68, 69, 70, 71].

Очищення рідин в електричному полі повинні дати значний економічний ефект внаслідок підвищення якості продукції і підвищення її стійкості при зберіганні.

Таким чином, для очищення різних рідин і олій з існуючих сучасних методів найбільш широке застосування знайшли гравітаційне відстоювання, центрифугування, фільтрація та методи, що ґрунтуються на використанні електричного поля.

Як показав аналіз [65,216], ці методи мають суттєві недоліки: велику енергоємність для центрифугування та фільтрації; низькі якісні показники для гравітаційного відстоювання; вибірковість застосування в залежності від густини рідини і частинок для центрифугування та гравітаційного відстоювання і в залежності від електрофізичних властивостей рідини та домішок для електричних методів; можливість розділення зважених частинок тільки за ознакою густини та розміру для гравітаційного відстоювання, центрифугування та фільтрації.

Таким чином, розвиток систем очищення та сепарації спрямований на удосконалення існуючих, і розробку нових методів та технічних засобів з метою зменшення енерго - та ресурсовитрат: на процес підвищення технологічності, забезпечення якості рослинних олій, при їх виробництві, є актуальною проблемою.

Діелектрофорез – виникнення сил на частинках, що поляризуються в неоднорідному електричному полі (зазвичай електричне поле змінного струму) [52]. Сили діелектрофорезу можуть бути використані для переміщення, фіксації у визначеному місці, розділення і управління частинками мікро- і нанорозмірів. Це може бути сортування, захоплення, видалення і розділення різних за властивостями об'єктів, тобто для маніпулювання ними. Потрібно відзначити, що діелектрофорез можна застосовувати не тільки для організації руху частинок в неоднорідному полі, але і для визначення їх власних характеристик: діелектрична проникність (ДП) і питома електропроникність (ПЕ).

Величина і спрямованість діелектрофоретичних сил залежить від декількох чинників, включаючи частоту змінного електричного поля, ПЕ і ДП середовища і зважених частинок, градієнта електричного поля. Останній залежить від геометрії використовуваних електродів. До того ж, електричні поля великої напруженості, що використовуються в діелектрофорезі, генерують високу щільність енергії в середовищі. Завдяки високій неоднорідності електричного поля спостерігаються градієнти температури, що приводить до градієнтів ПЕ і ДП. Перший створює вільний об'ємний заряд і силу Кулона, тоді як останній породжує діелектричну силу. Ці дві сили примушують середовище текти.

Ефект взаємодії частинок з полем пропорційний їх об'єму і набагато сильніше виявляється при розділенні крупних частинок.

Неоднорідне змінне електричне поле викликає поступальний рух поляризованої частинки. Швидкість діелектрофорезу пропорційна градієнту від квадрату напруженості поля, і залежно від параметрів частинки, навколишнього середовища і властивостей межі розділу між ними, може бути направлена у бік сильнішого або слабкішого поля [52].

У порівнянні з електрофорезом діелектрофоретичне маніпулювання частинками потрібно проводити з використанням сильніших полів, проте воно має певні переваги, які особливо важливі у разі управління окремими частинками. Серед цих переваг можна відзначити наступні: 1) сильніша, порівняно з електрофорезом, просторова залежність сили, що діє на частинку, дозволяє точніше управляти її положенням; 2) використання при діелектрофорезі змінного поля дозволяє уникнути забруднення простору біля електродів продуктами електрохімічних реакцій, які накопичувалися б при протіканні постійного електричного струму.

Діелектрофорез вивчається з 1951 р. стосовно частинок, що знаходяться в непровідних рідинах типу вуглеводнів. Дослідження діелектрофорезу в провідних рідинах, наприклад, водних розчинах, ускладнені проблемами створення електричного поля достатньо великої напруженості в таких

середовищах. Оскільки діелектрофоретична рухливість залежить від неоднорідності поля в місці розташування частинок, швидкість частинок виявляється функцією просторових координат, що також ускладнює експериментальне вивчення діелектрофорезу. Реалізація переваг діелектрофорезу для нанотехнологій стала можливою після створення мікроскопічних міжелектродних областей, в яких завдяки високому опору - більше 40 МОм і інтенсивному відведенню тепла, можуть бути отримані поля напруженістю близько десятків кВ/см. Такі напруженості поля виявляються достатніми для ефективного маніпулювання частинками радіусом від 10 нм [52].

Квадратична по полю повна сила, що діє в неоднорідному полі на електронейтральну систему, яка складається з частинки разом з її дебаєвською атмосферою - дифузною частиною подвійного електричного шару, описується наступним виразом [72, 73]:

$$\vec{F} = (\vec{P}\nabla)\vec{E}, \quad (1.86)$$

де \vec{F} – сила, що діє в неоднорідному полі на електронейтральну частинку, Н;

\vec{P} – повний індукований дипольний момент системи, Кл·м.

У традиційному підході до розрахунку швидкості діелектрофорезу в розчині електроліту вважається, що електрична сила, яка діє на частинку, дорівнює повній силі. Тоді швидкість діелектрофорезу обчислюється з умови рівності сили, що діє в неоднорідному полі на електронейтральну систему частинок. В результаті швидкість діелектрофорезу сферичної частинки радіусу a дорівнює [74]

$$\vec{v}_{de} = \frac{(\vec{P}\nabla)\vec{E}}{6\pi\eta a}, \quad (1.87)$$

де \vec{v}_{de} – швидкість частинки, м/с;

a – радіус частинки, м.

Проте в тих випадках, коли частинка рухається в розчині електроліту, тільки частина повної сили прикладена до частинки, тоді як інша частина діє на дебаєвську атмосферу.

В роботі [52] було враховано вплив зарядів іонів, що розподілені в межах поляризованої дифузійної обкладки подвійного електричного шару, і розрахована швидкість діелектрофорезу

$$\vec{v}_{de} = \frac{\chi_{eff} \nabla |\vec{E}|^2}{12\pi\eta a}, \quad (1.88)$$

де χ_{eff} – ефективна здатність частинки до поляризації;

$$\chi_{eff} = \chi_{eff}^{(0)} + \chi_{eff}^{(2)} \cdot \xi^2, \quad (1.89)$$

де $\chi_{eff}^{(0)}$ – ефективна здатність до поляризації незарядженої частинки;

$\chi_{eff}^{(2)}$ – коефіцієнт, що характеризує вплив заряду частинки на діелектрофорез.

Таким чином, розвиток теорії діелектрофорезу зазвичай зводиться до удосконалення методів розрахунку величини індукованого дипольного моменту, а саме – до врахування впливу на нього електричних властивостей частинки і середовища, поверхневої провідності, взаємозв'язаних електричних, концентраційних і гідродинамічних полів, що виникають при поляризації дифузійної частини подвійного електричного шару, рухливості іонів в шарі Штерна та інших чинників [52].

Не дивлячись на великі потенційні можливості, застосування діелектрофорезу все ще обмежене в більшості випадків лабораторними і пілотними установками. Інша річ, коли частинка знаходиться в повітрі або в

непровідній рідині. В цьому випадку ситуація спрощується, і сила, що діє на частинку у формі кулі, може бути розрахована за формулою [75]

$$\vec{F} = 4\pi\epsilon_c a^3 \frac{\epsilon_q - \epsilon_c}{\epsilon_q + 2\epsilon_c} \left(\vec{E}_x \frac{\partial \dot{E}}{\partial x} + \vec{E}_y \frac{\partial \dot{E}}{\partial y} + \vec{E}_z \frac{\partial \dot{E}}{\partial z} \right), \quad (1.90)$$

На основі цієї сили працюють пристрої електросепарації в повітряних середовищах - діелектричні сепаратори [76, 77, 78]. Але застосування подібних пристроїв для ОС діелектричних рідин від механічних домішок ускладнено у зв'язку з великою в'язкістю рідин у порівнянні з газами та іншими факторами. Рідинні електрофільтри та електросепаратори з конструкцією, подібною до газових, не знайшли практичного застосування.

Крім цього, при використанні діелектрофоретичних механізмів очищення рідин застосовується постійний струм або струм промислової частоти, що зумовлено нехтуванням електропровідністю середовища та частинки. Для багатьох рідин такий підхід не є прийнятним. Наприклад, для соняшникової олії з питомою електропровідністю 10^{-9} Ом/м вже при частоті 50 Гц реактивна електропровідність дорівнює активній. Це приводить до зсуву фаз між дипольним моментом діелектричної частинки і електричним полем, та відповідної зміни величини сили (1.5).

Метод має великі перспективи, які пов'язані перш за все зі створенням такої конфігурації електричного поля, яка б дозволила забезпечити ефективні траєкторії руху частинок у відведені зони та їх вивантаження з пристрою в неперервному режимі роботи обладнання, та можливістю розділення частинок з різними електрофізичними властивостями.

Драховуючи перспективні можливості методу, в технологічному блоці ЕКОССС слід використовувати діелектрофоретичну взаємодію електричного поля з частинками суспензії.

Висновки до розділу 1

Аналіз теоретичних основ переробки насіння рицини дозволяє зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що окремі операції технології глибокої переробки рицини для умов малотоннажного виробництва є недосконалими із-за відсутності глибоких досліджень тих процесів, які лежать в основі цих операцій. Такими технологічними операціями насамперед є операції, пов'язані із волого-тепловою підготовкою м'ятки насіння рицини до віджиму олії. Недостатньо вивчені волого-теплові процеси, що протікають при переробці рицини в основі яких лежить теорія тепло-масопереносу сприяє відсутності інженерних методів розрахунку апаратів для використання технологічних операцій. Такими апаратами насамперед є парові жаровні відсутність інженерних розрахунків основних режимних і конструкційних параметрів, що не дозволяє отримувати максимальний вихід олії найкращої якості.

2. Для виробництва рицинової олії по якісним показникам відповідно вимогам ДСТУ, а саме по її прозорості, обов'язковою операцією технологічного процесу є очищення рослинних олій. З існуючих сучасних методів найбільш широкое застосування знайшли гравітаційне відстоювання, центрифугування, фільтрація та методи, що ґрунтуються на використанні електричного поля. Ці методи особливо відносно рицинової олії з її унікальними властивостями, мають суттєві недоліки: велику енергоємність.

На підставі результатів виконаного аналізу ставиться задача розробки ресурсоощадної технології глибокої переробки насіння рицини з урахуванням її технологічних властивостей.

Мета роботи – забезпечення глибокої переробки насіння рицини в умовах малотоннажного підприємства з технологічним виходом рицинової олії заданої якості, що забезпечує залишкову олійність жмиху не більше 8%, шляхом застосування двократного пресування з попередньою волого-тепловою підготовкою сировини.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз світового досвіду переробки насіння рицини, існуючих технологій і технічних засобів отримання продуктів переробки насіння рицини, теоретичних основ волого-теплової підготовки насіння олійних культур до віджиму, пресування мезги в гвинтовому пресі і очищення вилученої олії від механічних домішок та фосфатидів.

2. Здійснити моделювання та обґрунтування процесів волого-теплової обробки м'ятки рицини перед її пресуванням та очищення пресової рицинової олії від механічних домішок та фосфатидів під дією електричного поля.

3. Дослідити фізико-механічні, термодинамічні та технологічні властивості насіння рицини та визначити вихідні вимоги щодо розроблення нової безекстракційної технології його глибокої переробки.

4. Обґрунтувати конструкційно-технологічні параметри та режими роботи обладнання для отриманої рослинної олії заданої якості.

5. Удосконалити безекстракційну технологію переробки рицини методом двократного пресування для умов малотоннажного підприємства.

6. Провести фінансово-економічний аналіз безекстракційної технології переробки рицини методом двократного пресування, адаптованої для умов малотоннажного виробництва потужністю 15 т/добу по вихідній сировині.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Розробка математичної моделі і методу розрахунку динаміки процесу тепло-масопереносу при підготовці м'ятки рицини до віджиму олії в багаточанній жаровні

2.1.1 Моделювання гідродинаміки мезги в багаточанній жаровні при волого-тепловій підготовці вилучення олії

Рух мезги по лопатям мішалки. У багаточанній жаровні проводиться складний технологічний процес, мета якого викликати певні фізико-хімічні зміни м'ятки і змінити структуру її частин, які сприяють найкращому ефекту при віджиманні олії. При висушуванні на гарячій поверхні днища чана утворюється рухливий контактний шар. Поле температур будь-якого шару м'ятки в напрямку від контактного шару безперервно зменшується. Розподіл вмісту вологи в процесі сушіння нерівномірний і несиметричний: в контактному шарі, прилеглому до гарячої поверхні мінімальний, і збільшується в напрямку від гарячої поверхні. Перепад вологовмісту всередині контактного шару створюється за рахунок пароутворення, яке відбувається з різною інтенсивністю в залежності від координати шару. Через велику загальну товщину оброблюваного шару м'ятки процес тепло- і масообміну відбувається наступним чином. Волога, що випарувалася за рахунок нагріву м'ятки контактним способом, віддає своє тепло вищезташованим і більш холодним шарам м'ятки, частково конденсуючись на них; це є одним з важливих моментів механізму висушування в багаточанних жаровнях (самопропарювання).

При заключних етапах процесу жаріння в м'ятці (мезгі) видаляється волога, що володіє тією або іншою формою зв'язку з матеріалом, але не вільна.

Тому при розрахунку процесу жаріння вологих матеріалів необхідно враховувати енергію для подолання розриву зв'язаної вологи з м'яткою.

Кожен чан жаровні має вигляд турбінної мішалки з похилими плоскими лопатками. Турбінна мішалка з прямими лопатками створює потік рідини, що має радіальну і тангенціальну складові. На стінці апарату цей потік гальмується, змінює свій напрямок на осьовий, піднімається вгору аж до вільної поверхні і звідси знову повертає в напрямку мішалки [119]. Для опису процесів, що відбуваються на днищі в чані жаровні необхідно знати траєкторію і швидкість переміщення мезги. Таким чином, проблемою для створення математичної моделі кондуктивного і конвективного тепло- і масопереносу в багаточанній жаровні є, перш за все, детальне вивчення і математичний опис реальних процесів, що дозволяють отримати характеристики, що оцінюють рух матеріалу і тепло- вологоносія, які знаходяться в різних кількісних співвідношеннях.

Моделювання кондуктивного і конвективного тепло- і масопереносу в багаточанній жаровні присвячені роботи [120, 121, 122].

В роботі [120] отримано математичну модель волого-теплової обробки в багаточанній паровій жаровні з використанням безрозмірної системи рівнянь тепло- і масопереносу, розробленої на підставі термодинаміки незворотних процесів А.В. Ликовим. Застосована теорія тепло- і масопереносу на базі розв'язання системи нелінійних диференціальних рівнянь при граничних умовах, відповідно постійним і змінним потенціалом і середовищі, змінні по наперед заданим законам. Однак ця система з її граничними умовами призначена для матеріалу і середовища, що знаходяться в нерухомому стані.

Для числових досліджень розроблена дискретна модель процесу вологотеплової обробки в товстому шарі, що складається з елементарних шарів, в кожному з яких коефіцієнти волого теплопереносу приймалися постійними, але змінювалися при переході з шару в шар.

Інтенсивний потік пару, утворений в контактному шарі, віддає своє тепло вищерозташованим, більш холодним шарам м'ятки, частково конденсуючись на них. Використаний спосіб, побудови граничних умов, що дозволяють

отримати характеристики, що оцінюють рух матеріалу і теплоносія, які знаходяться в різних кількісних співвідношеннях.

В роботі [122] розглянуто складний рух м'ятки в чані жаровні, що представляє собою турбінну мішалку з похилими лопатками. Завдяки розташуванню мішалки поряд з основним рухом утворюється потік вторинної циркуляції. Обидва типи руху показані схематично на рис. 2.1, рис. 2.2 і рис. 2.3. Тут же наведена схема розкладання сумарної швидкості мезги в чані жаровні з мішалкою на її складові. Дано аналітичні залежності складових швидкостей від результуючої невідомої швидкості.

Гідродинамічні параметри, такі як розподіл швидкості рідини в апараті, насосний ефект мішалки, час циркуляції і час перемішування системи, можуть служити основою для оцінки роботи різних типів апаратів з мішалками.

Наявність турбінної мішалки в жаровні принципово змінює фізику процесу тепло-вологопереносу. З метою визначення параметрів цього процесу важливо знати швидкість переміщення мезги по гарячій поверхні чанів в т.ч. по лопастям турбіни мішалок.

При аналізі роботи [124] багаточанних жаровень, показано складний рух частинок м'ятки в жаровні при поточному-безперервному русі (рис.2.1).

Головний напрям руху матеріалу



Рис. 2.1. Схема руху частинок м'ятки в жаровні при потоковому, безперервному жарінні

Рух частинки по горизонталі, що обертається навколо вертикальної осі диску з прямими, вертикально укріпленими до нього лопатками розглянуто в роботі [125]. При написанні диференційного рівняння руху цієї частки враховувалися дію наступних сил (рис. 2.2):

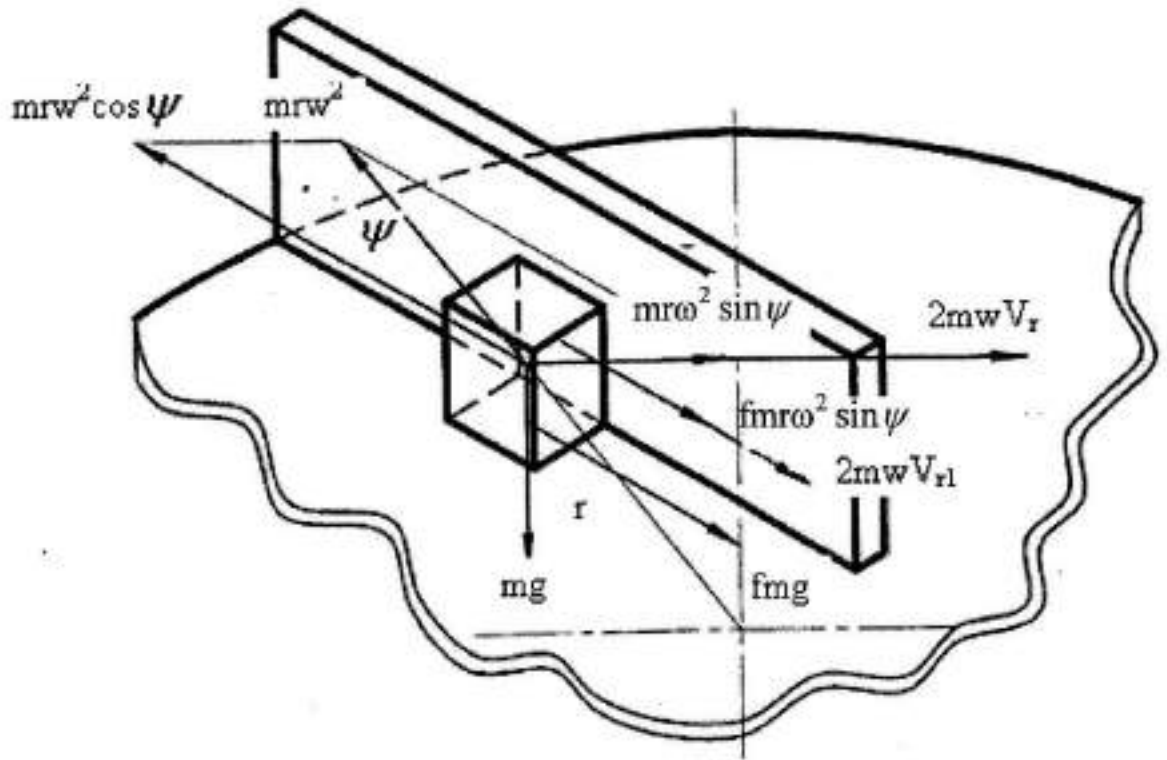


Рис. 2.2. Схема прикладання сил на частку м'ятки при русі по горизонтальному диску з прямими лопатками [94]

1) сили ваги $-mg$. При горизонтальному положенні диска і вертикальному положенні лопатки проекція цієї сили в площині диска і лопатки дорівнюють нулю;

2) відцентрової сили $-mr\omega^2$;

3) сили тертя частинки по поверхні диска $-fmg$. Так як частинка переміщається в відносному русі в площині лопатки, то ця сила теж буде направлена в площині, паралельній площині лопатки;

4) сили Коріоліса. Величина цієї сили дорівнює $2m\omega\xi'$, де ξ' – швидкість відносного руху матеріальної точки. Напрямок цієї сили перпендикулярно до

напрямку відносної швидкості ξ' і орієнтований в сторону, зворотний напрямку обертання;

5) сили тертя частинок по поверхні лопатки $-2f\omega\xi'$. Поява цієї сили пов'язана з наявністю тиску частинки на поверхню лопатки, що виникає внаслідок наявності сили Коріоліса.

Так як лопатка розташована під деяким кутом радіальному напрямку, то відцентрову силу $mr\omega^2$ можна розкласти на дві складові: на складову $-mr\omega^2 \cos\psi$ в напрямку площини лопатки і на складову $-mr\omega^2 \sin\psi$, перпендикулярну до площини лопатки. Остання створює додаткову силу тертя в площині торкання частинки з поверхнею лопатки (ψ – кут, укладений між радіальним напрямком і напрямком лопатки).

Обидві сили тертя будуть спрямовані назад напрямку відносної швидкості ξ' .

Диференціальне рівняння руху частинки в напрямку лопатки матиме вигляд:

$$m\xi'' = mr\omega^2 \cos\psi - fmg + fmr\omega^2 \sin\psi - 2f\omega\xi'. \quad (2.1)$$

Для простоти викладу приймається коефіцієнт тертя частинки до поверхні диска і на поверхні лопатки однаковим. З рисунку видно, що для даної лопатки має місце наступна умова

$$r \sin\psi = r_0 \sin\psi_0 = \text{const}, \quad (2.2)$$

де r_0 – відстань від початкового положення частки до центру диска;

ψ_0 – початкове значення кута ψ .

$$r \cos\psi = \xi + r_0 \cos\psi_0. \quad (2.3)$$

Підставивши значення (2.2) і (2.3) в рівняння (2.1), отримаємо на випадок, коли лопатка буде нахилена назад

$$\xi'' + 2f\omega\xi' - \omega^2\xi = r_0\omega^2 \frac{\cos(\psi_0 - \varphi)}{\cos\varphi} - fg, \quad (2.4)$$

де φ – кут тертя.

Рівняння (2.4) є неоднорідним лінійним рівнянням другого порядку. Структура загального рішення такого рівняння визначається наступною теоремою:

Загальне рішення неоднорідного рівняння представляється як сума будь-якого приватного вирішення цього рівняння ξ^* і спільного рішення $\bar{\xi}$ відповідного однорідного рівняння

$$\xi = \bar{\xi} + \xi^*, \quad (2.5)$$

Відповідне однорідне рівняння неоднорідного рівняння другого порядку (2.4) має наступний вигляд

$$\xi'' + 2f\omega\xi' - \omega^2\xi = 0, \quad (2.6)$$

Будемо шукати спільне рішення $\bar{\xi}$ однорідного рівняння (2.6) з постійними коефіцієнтами. Приватні рішення шукаємо у вигляді

$$\xi = e^{\lambda t}, \text{ где } \lambda = \text{const}, \quad (2.7)$$

тоді

$$\xi' = \lambda e^{\lambda t}, \quad \xi'' = \lambda^2 e^{\lambda t}, \quad (2.8)$$

Підставляючи отримані вирази похідних в рівняння (2.6), знаходимо

$$e^{\lambda t} (\lambda^2 + 2f\omega\lambda - \omega^2) = 0, \quad (2.9)$$

Так як $e^{\lambda t} \neq 0$, таким чином,

$$\lambda^2 + 2f\omega\lambda - \omega^2 = 0., \quad (2.10)$$

Таким чином, якщо λ буде задовольняти рівняння (2.10), то $e^{\lambda t}$ буде рішенням рівняння (2.6). Рівняння (2.10) називається характеристичним рівнянням по відношенню до рівняння (2.6).

Характеристичне рівняння є квадратне рівняння, що має два кореня; позначимо їх через λ_1 и λ_2 . При цьому

$$\lambda_1 = \frac{-2f\omega + \sqrt{4f^2\omega^2 + 4\omega^2}}{2} = \omega(\sqrt{f^2 + 1} - f), \quad (2.11)$$

$$\lambda_2 = \frac{-2f\omega - \sqrt{4f^2\omega^2 + 4\omega^2}}{2} = \omega(-\sqrt{f^2 + 1} - f). \quad (2.12)$$

Загальний інтеграл однорідного рівняння (2.8) має вигляд

$$\bar{\xi} = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t}. \quad (2.13)$$

Тому рішення неоднорідного рівняння (2.4) буде мати вигляд

$$\xi = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + r_0 \frac{\cos(\psi_0 \pm \varphi)}{\cos \varphi} - \frac{fg}{\omega^2}, \quad (2.14)$$

де C_1 та C_2 – довільні постійні.

Останні визначаємо за початковими умовами руху

При $t=0$; $\xi = \xi' = 0$.

Визначивши постійні і підставивши їх у рівняння (2.14), отримаємо:

$$\xi = \left[\frac{fg}{\omega^2} - r_o \frac{\cos(\psi_o \pm \varphi)}{\cos \varphi} \right] \left[\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} (\lambda_2 e^{\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{\lambda_2 t}) - 1 \right], \quad (2.15)$$

Швидкість руху частинки в напрямку лопатки визначається з рівняння:

$$\xi' = v_\xi = \left(\frac{fg}{\omega^2} - r_o \frac{\cos(\psi_o \pm \varphi)}{\cos \varphi} \right) \left[\frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}) \right], \quad (2.16)$$

Так як переносна швидкість в даному випадку представлена окружною швидкістю $v_e = r\omega$, то проектуючи відносну швидкість v_ξ на дотичну до

окружної периферії диска, знайдемо швидкість розсівання частинок в цьому напрямку як алгебраїчну суму цих швидкостей:

$$v = v_e \pm v_\xi \sin \psi_1 = r\omega \pm \left(\frac{fg}{\omega^2} - r_o \frac{\cos(\psi_o \pm \varphi)}{\cos \varphi} \right) \left[\frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t}) \right] \sin \psi_1, \quad (2.17)$$

де ψ_1 - кінцеве значення кута ψ .

Зауважимо, що якщо лопатки закріплені радіально, то $\psi = 0$; $r_0 = 0$, і рівняння (2.17) приймає вигляд

$$\xi = r = \frac{fg}{\omega^2} \left[\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} (\lambda_2 e^{\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{\lambda_2 t}) - 1 \right], \quad (2.18)$$

У цьому випадку швидкість сходу в напрямку по дотичній буде дорівнювати переносній швидкості в кінці лопатки, тобто

$$v = v_e = r\omega, \quad (2.19)$$

Що ж стосується величини швидкості абсолютного сходу, то в цьому випадку вона визначиться з рівняння $v_a = \sqrt{v^2 + v_{\xi}^2}$.

Наведені розрахунки виконані для чана багаточанної жаровні з внутрішнім радіусом чане 0,5 м. Для числового дослідження кінематичного рівняння шляху від часу (2.6) була складена файл функція put 1 (а) з одним параметрам процесу а, де а - кутова швидкість обертання мішалки чане жаровні.

На розгляд приймемо наступні варіанти частоти обертання лопатки-мішалки:

Таблиця 2.1

Варіанти частот обертання ножа мішалки семічанної жаровні

Вар	1	2	3	4	5	6	7	8
n	21	28	35	40	50	60	70	100
ω	2,1991	2,9307	3,6652	4,1880	5,2360	6,2832	7,3304	10,4720

Використовуючи файл функції put1 (а) були складені три графіка руху точки м'ятки по лопаті мішалки. Представлена залежність пройденої відстані від часу при збільшенні частоти мішалки від 21 до 100 об./хв.. (кутової швидкості від 2,1991 до 10,4720 рад./с) протягом 1 с.

На графіку видно, що всі криві змальовують прискорений рух. Крім того, крива шляху при частоті 100 об./хв.. різко виділяється в порівнянні з кривою при 70 об./хв. і протягом 1 с. досягає 1м. При радіусі лопаті мішалки 0,5 м таке інтенсивне переміщення недоцільно. Частинок м'ятки не встигатимуть нагріватися.

При більш ретельному вивченні кінематики переміщення частинок м'ятки по лопатці мішалки на рис. 2.3. розглянуто рух частинок м'ятки при частоті обертання лопатей від 21 до 70 об./хв. протягом 1 секунди.

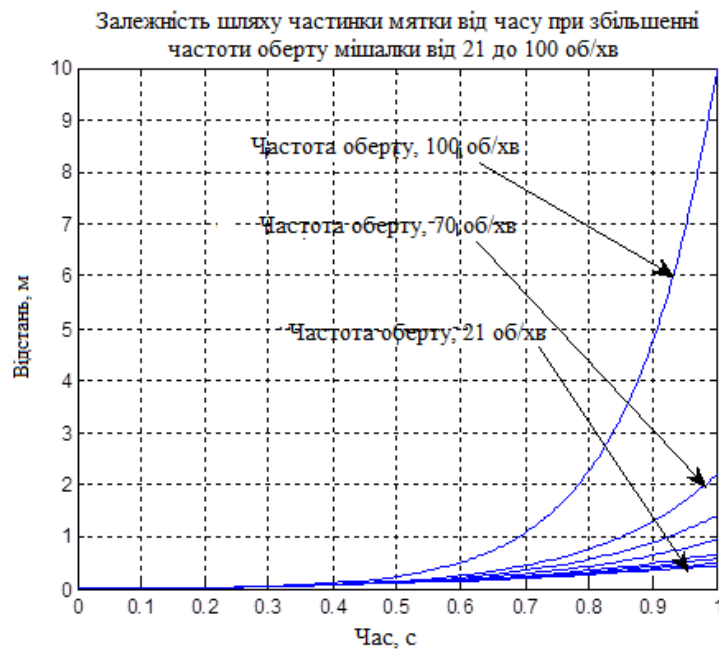


Рис. 2.3. Графік руху точки м'ятки по лопатці мішалки

При частоті обертання мішалки 21 об./хв. частки м'ятки не встигають покинути направляючу лопать мішалки 0,5 м, а при частоті обертання 70 об./хв. можуть досягти радіусу понад 2 м. Приймаємо за доцільне подальше вивчення руху частинок м'ятки в діапазоні частоти обертання від 28 до 70 об./хв. в радіусі 0,5 м (рис. 2.4.)

Використовуючи наведені криві пройденого шляху від частоти обертання (рис. 2.4), графічним методом визначено час досягнення частки м'ятки кінця лопаті радіусом 0,5 м. Для числового дослідження швидкості частки м'ятки від часу (2.7) була складена файл функції $skor2(a)$ з одним параметром процесу a - кутова швидкість обертання мішалки чана жаровні.

Таблиця 2.2

Тривалість руху частинок м'ятки по лопатці мішалки радіусом 0.5 м в залежності від кутової швидкості мішалки

Кутова швидкість обертання, об./хв.	28	35	40	50	60	70
Тривалість руху, с	1	0.9437	0.9000	0.8281	0.7781	0.7188

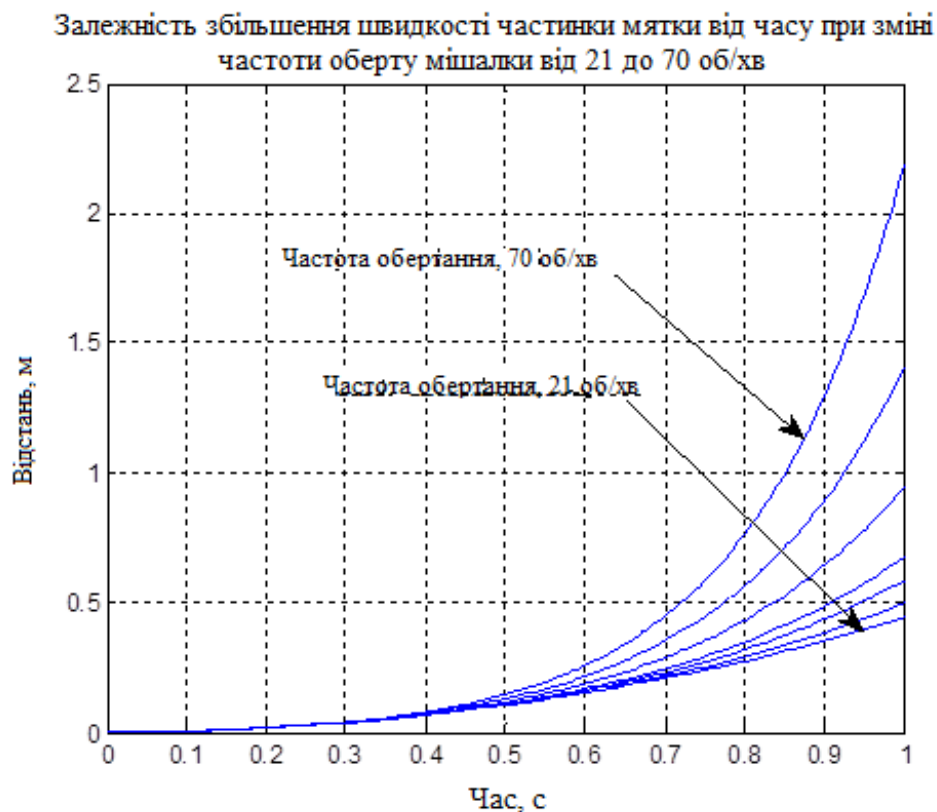


Рис. 2.4. Графік руху точки м'ятки по лопатці мішалки

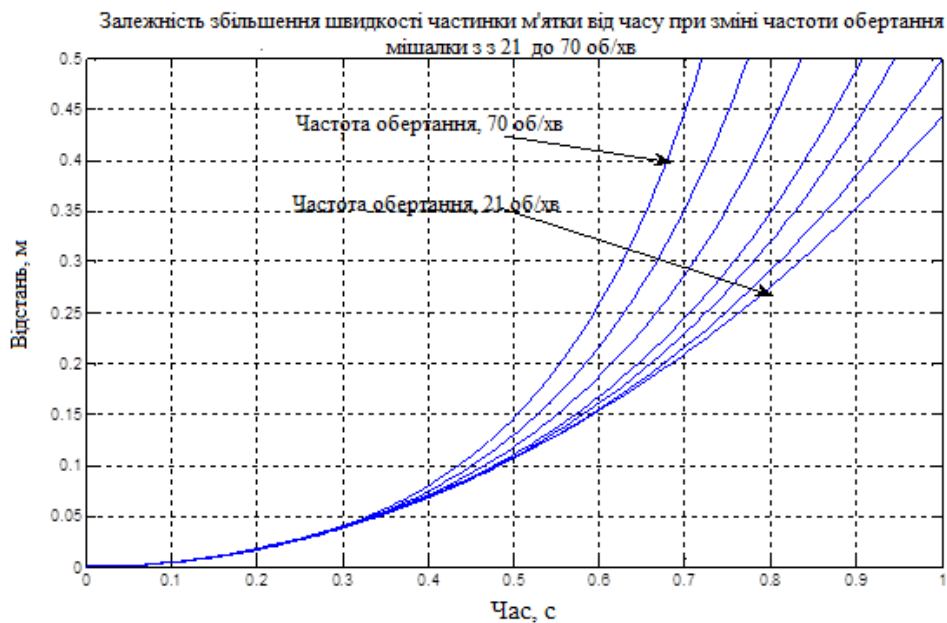


Рис. 2.5. Графік руху точки м'ятки по лопатці мішалки

Використовуючи файл функції `skor2` (а) був складений графік залежності швидкості точки м'ятки по ножу лопатки від частоти мішалки. На рис. 2.6. представлена залежність швидкості точки м'ятки по ножу мішалки від часу при збільшенні частоти мішалки від 21 до 70 об./хв. (кутової швидкості від 2,1991

до 7,33304 рад./с) протягом 1 с. На графіку видно, що всі криві відображають прискорений рух. Протягом перших 0,3 с всі криві незалежно від частоти обертання зливаються і близькі прямій. У цей період сили опору близькі відцентровій сили, що діє на частинки м'ятки. І далі зі зростанням відцентровій сили криві відстані розходяться, особливо після частоти 40 об./хв.

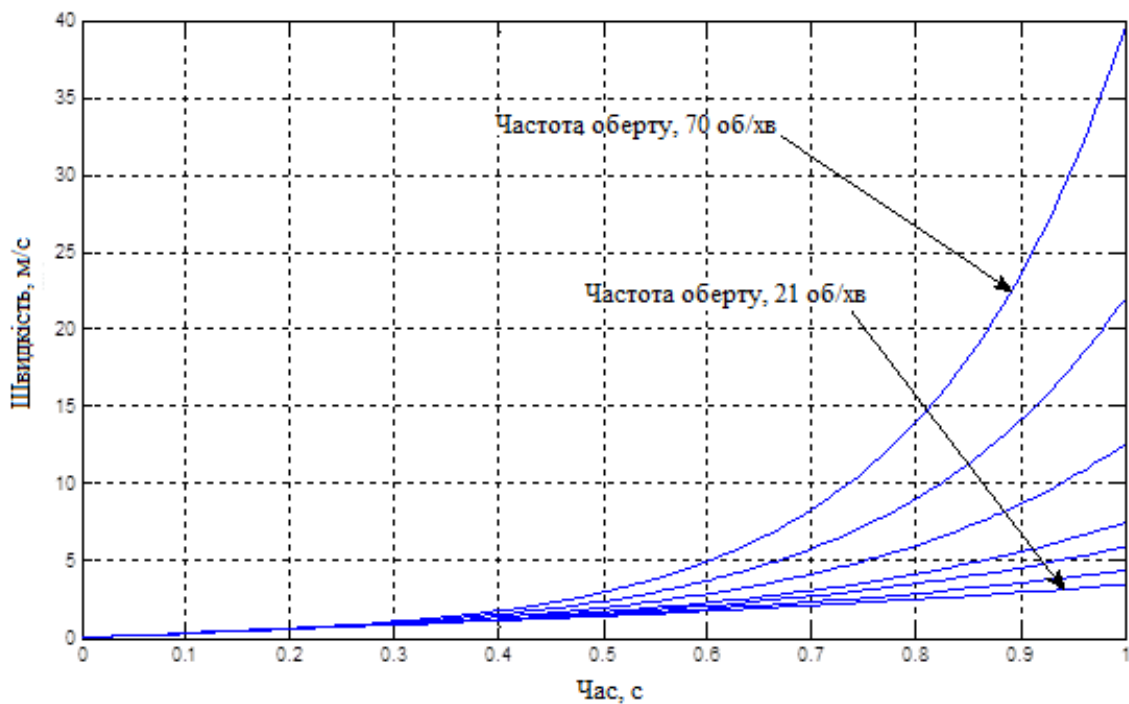


Рис. 2.6. Залежність швидкості частинки м'ятки від часу при зміні частоту обертання мішалки від 21 до 70 об./хв.

Таблиця 2.3

Швидкості сходу частинок м'ятки з кінця лопаті мішалки від часу руху при різній частоті обертання мішалки

Кутова швидкість обертання, об./хв	28	35	40	50	60	70
Кутова швидкість обертання, рад./с	2.9307	3.6652	4.1880	5.2360	6.2832	7.3304
Тривалість руху, с	1.0000	0.9437	0.9000	0.8281	0.7781	0.7188
Швидкість сходу частинок м'ятки з кінця лопатки, м/с	4.5161	5.1613	5.6452	6.6129	8.0645	9.3548

Використовуючи наведені криві швидкості частинок м'ятки від частоти обертання і знайдений тривалість руху частинок по лопатці, графічним методом визначена швидкість сходження частинок з лопатки радіусом 0,5 м залежно від кутової швидкості мішалки.

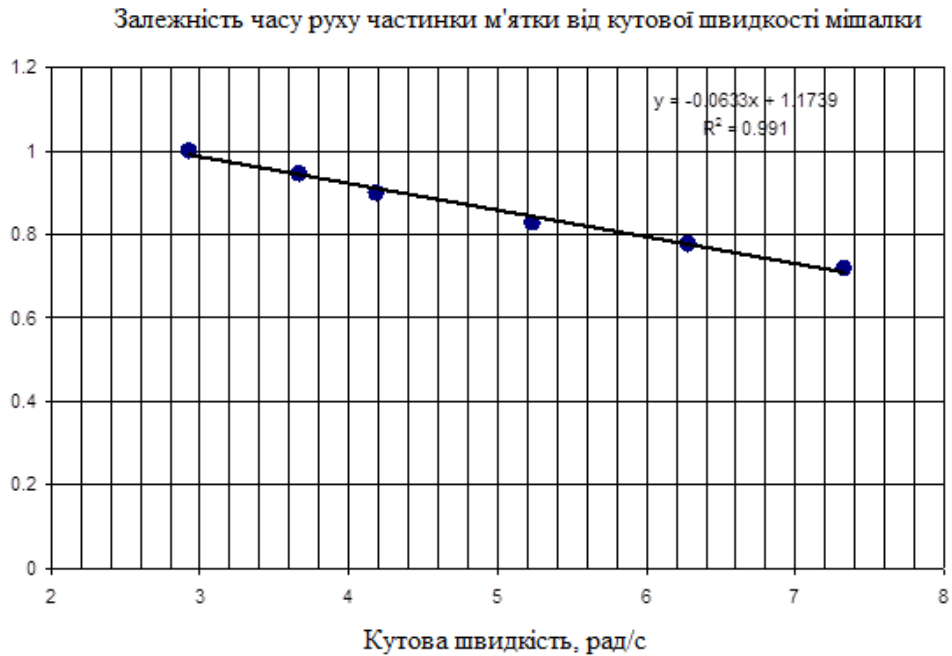


Рис. 2.7. Залежність часу руху частки м'ятки по лопатці довжиною 0,5 м від кутової швидкості мішалки чана жаровні

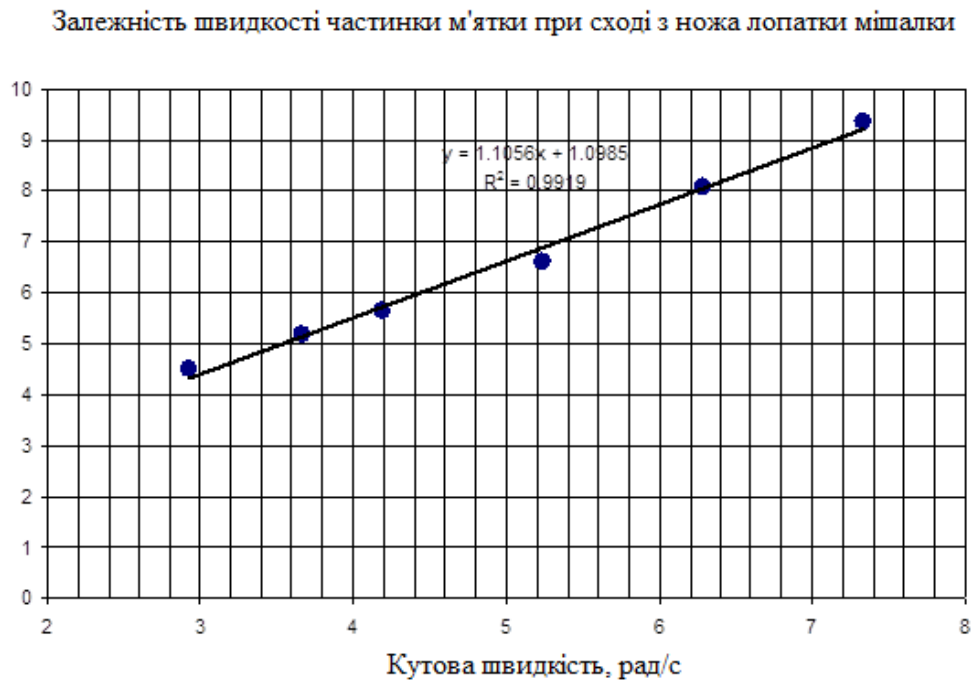


Рис. 2.8. Залежність швидкості частки м'ятки при сходженні з лопатки завдовжки 0,5 м від кутової швидкості мішалки чана жаровні

Для більш детального вивчення часу руху частинок м'ятки по лопатці мішалки і лінійної швидкості частинок на сході з лопатки, необхідних при вивчення кінематики і теплообміну в об'ємі чанів багаточанної жаровні були побудовані відповідні графіки і визначені експериментальні залежності (рис. 2.7) і (рис. 2.8).

На рис. 2.8 побудована залежність часу руху частки м'ятки по лопатці довжиною 0,5 м від кутової швидкості мішалки чана жаровні. Визначено рівняння регресії першого ступеня цієї залежності для діапазону кутової швидкості від 2 до 8 рад./с:

$$y = -0.0633x + 1.1738 \quad (2.20)$$

Достовірність апроксимації інтерполяційного полінома визначена коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0.991$.

На рис.2.8 побудована за даними таблиці 2.3 залежність лінійної швидкості мезги при сходженні з лопатки довжиною 0,5 м від кутової швидкості мішалки. Визначено рівняння регресії другого ступеня цієї залежності для діапазону кутової швидкості від 2 до 8 рад./с:

$$y = 1.1056x + 1.0985 \quad (2.21)$$

Достовірність апроксимації інтерполяційного полінома визначена коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0.9919$.

Що ж стосується величини швидкості абсолютного розсівання, то в цьому випадку вона визначиться з рівняння:

$$v_a = \sqrt{v^2 + v_{\xi}^2} \quad (2.22)$$

Для визначення абсолютної швидкості сходу частинок м'ятки з кінця лопатки чана радіусом 0,5 м проведені поетапні числові визначення значень, складових залежності (2.10), (2.12) і (2.13), відповідно до наведеної таблиці 2.3.

2.1.2 Математична модель динаміки тепломасопереносу і фазових перетворень при сушінні м'ятки

Математичне моделювання динаміки сушіння і пропарювання в дисперсному пористому шарі м'ятки пов'язано з рішенням сполученої задачі тепломасопереносу і фазових перетворень в гетерогенних системах.

Серед математичних моделей, що застосовуються для описання динаміки сушіння капілярно-пористих матеріалів, найбільш відомою є модель А.В. Ликова [134]. Вона базується на загальних закономірностях термодинаміки необоротних процесів [135] та містить в якості основних двох диференціальних рівнянь – теплопереносу та масопереносу рідкої фази для випадку реалізації дифузійного механізму вологопереносу [134]. У випадку високоінтенсивного проходження процесу сушіння, всередині капілярно-пористого тіла виникає градієнт загального тиску, що викликає молярний перенос парогазової суміші (пари і повітря) по типу фільтрації через пористі середовища, та система доповнюється диференціальним рівнянням фільтрації [134]. А.В. Ликов застосував до перенесення речовини методи і систему понять, які застосовуються в явищах переносу теплоти, і тим самим заклав основи загальної термодинаміки переносу, яка розглядає ці явища в їх нерозривному зв'язку, тобто так як вони протікають в дійсності.

Однак вагомим недоліком при використанні цих моделей є те, що вони містять ряд специфічних коефіцієнтів – термоградієнтний, бароградієнтний, вологопровідності, ізотермічної масоємності, критерію фазового перетворення, дані про які отримані для досить обмеженого класу пористих матеріалів, а їх самостійне визначення представляє достатньо складну задачу. Так критерій фазового перетворення ε_{ϕ} ($0 < \varepsilon_{\phi} < 1$) [134], який враховує інтенсивність випаровування рідини в порах тіла, представляється відношенням зміни вологовмісту матеріалу внаслідок фазового перетворення рідини в пару до

загальної зміни його вологовмісту в результаті процесів переносу вологи і фазового перетворення. Однак, у фізичному плані процеси вологопереносу і випаровування рідини можуть протікати незалежно один від одного, і такий прийом представляє заміну однієї невідомої функції на іншу.

В математичних моделях сушіння пористих матеріалів С. Вітаккера [136], М.М. Гринчика, П.С. Куца, П.В. Акуліча [137] способи знаходження функції інтенсивності фазового переходу є також доволі наближеними.

В роботі [130, 138, 139] викладена молекулярно-радіаційна теорія тепломасопереносу, що обґрунтована на основі закону інтенсивності спектрального випромінювання мікрочастинок М.І. Нікітенко, і на відміну від феноменологічної теорії дозволяє визначати динамічні і кінетичні характеристики речовини. Згідно цієї теорії, перенос енергії, як і маси речовини або поля здійснюється матеріальними носіями, що безперервно випускаються або поглинаються частинками речовини. Тобто процеси дифузії та випаровування рідини є активаційними і їх інтенсивність істотно залежить від температури.

В рамках молекулярно-радіаційної теорії тепломасопереносу ним отримано формули:

– для розрахунку **коефіцієнта дифузії рідкої фази** [140], яка у граничних випадках переходить в емпіричну формулу Арреніуса для твердих тіл і у формулу Ейнштейна для рідких середовищ:

$$D_{\text{ж}} = \gamma_D \left[\exp\left(\frac{A_D}{R_y T}\right) - 1 \right]^{-1}, \quad (2.23)$$

де $\gamma_D = \text{const}$;

T – температура;

R_y – універсальна газова стала;

A_D – енергія активації молекул, що здійснюють дифузійний перенос;

– для **інтенсивності випаровування рідини** [141], яка представляє результуючий потік молекул рідини що випаровуються (перший член в дужках

правої частини) і молекул пари що конденсуються на поверхні фазового переходу (другий член правої частини)

$$I = \gamma_c \left\{ \varphi_m \left(\exp \left[A / (RT) \Big|_{v=0} \right] - 1 \right)^{-1} - \varphi_c \left(\exp \left[A / (RT_c) \right] - 1 \right)^{-1} \right\}, \quad (2.24)$$

де γ_c – коефіцієнт поверхневого випаровування, $\gamma_c = \varepsilon \varphi_p \delta^* / 4$;

ε – коефіцієнт випромінювання;

φ_r – вологість парогазової суміші, якій згідно з ізотермою сорбції відповідає об'ємна концентрація U_h в даній точці пористого тіла;

ν – нормаль до граничної поверхні;

T_c і φ_c – температура і відносна вологість зовнішнього середовища.

Якщо перший член в дужках правої частини перевищує другий – формула (2.24) виражає інтенсивність випаровування. В зворотньому випадку – інтенсивність конденсації.

Молекулярно-радіаційна теорія дала подальший розвиток теорії сушіння, що дозволила вирішити ряд практичних задач [142–146].

У відповідності до фізичної постановки задачі зневоднення попередньо зволоженої м'ятки, математична модель динаміки тепломасопереносу і фазових перетворень в загальному випадку включає чотири диференціальні рівняння переносу: енергії, маси рідкої, парової і повітряної фаз [130].

Диференційні рівняння переносу теплоти і маси будуються на основі отриманого у [142] диференційного рівняння нестационарного переносу субстанції W (маси, енергії, імпульсу) для тіл, що деформуються:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\operatorname{div} J_W + I_W - \frac{W}{1 + \varepsilon_V} \frac{\partial \varepsilon_V}{\partial t}. \quad (2.25)$$

Тут J_W – густина потоку субстанції W ;

I_W – потужність внутрішніх джерел субстанції;

ε_V – відносна об'ємна деформація тіла в результаті переносу субстанції W .

Для матеріалів, зневоднення яких не супроводжується зменшенням їх обсягу, величина $\varepsilon_V = 0$. В цьому випадку (2.23) переходить у відоме рівняння Умова.

Густина потоку субстанції враховує дифузійний J_W^d і фільтраційний J_W^f механізми переносу: $J_W = J_W^d + J_W^f$.

Дифузійний (молекулярний) потік субстанції визначається градієнтом її потенціалу переносу. Потенціалами переносу маси компоненту ψ зв'язаної речовини (рідини $\psi = ж$, пари $\psi = п$, повітря $\psi = в$) є об'ємна концентрація U_ψ цього компоненту та температура тіла T : $J_\psi^d = -D_\psi(\nabla U_\psi + \delta_\psi^T \nabla T)$, де D_ψ – коефіцієнт дифузії компонента ψ , δ_ψ^T – відносний коефіцієнт термодифузії компонента ψ . Молекулярний перенос енергії у вологому матеріалі відбувається у вигляді теплоти і за рахунок масопереносу: $J^d = -\lambda \nabla T + \sum_\psi h_\psi J_\psi^d$, де h_ψ – питома ентальпія компонента ψ .

Коефіцієнт дифузії рідини визначається по формулі (2.23) [6]. Коефіцієнт дифузії пари в повітрі D_p

$$D = \frac{KT^{3/2}}{Pd_{\text{мол}}^2 \sqrt{\mu}}, \quad (2.26)$$

Де K – const;

$d_{\text{мол}}$ – діаметр молекул, що дифундують;

P – тиск газу.

Враховуючи те, що коефіцієнт дифузії пари в повітрі при $T = 273 \text{ K}$ і $P = 100 \text{ кПа}$ зручно представити у вигляді

$$D_p = D_v = \frac{\gamma_p T^{3/2}}{P_r}, \quad \text{де } \gamma_p = 0,49 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}. \quad (2.27)$$

Густини фільтраційних (конвективних) потоків компонентів зв'язаної речовини визначаються по співвідношенням: $J_p^\phi = U_p w_p$, $J_\Pi^\phi = U_\Pi w_\Pi$, $J_{пов.}^\phi = U_{пов.} w_\Pi$, де величини w_p і w_Π представляють собою векторні суми швидкостей: лінійної швидкості w_l частинок м'ятки відносно корпусу апарата та швидкості фільтраційного руху рідинної w_p або газової w_Π фаз. Швидкості фільтраційного руху компонентів зв'язаної речовини знаходяться по формулі Дарсі

$$w_\psi = - \frac{K_o K_\psi}{\eta_\psi} \nabla P_\psi, \quad \psi = p, \Pi. \quad (2.28)$$

Тут K_o – загальна проникність середовища;

K_ψ – відносна проникність,

η_ψ – динамічний коефіцієнт в'язкості,

∇P_ψ – градієнт тиску фази ψ .

Рух частинок в апараті є складним, оскільки вектор швидкості змінюється в часі як по величині, так і за напрямком. Швидкість переміщення частинок матеріалу в чанах жаровні визначаються кутовою швидкістю мішалки і залежить від частоти її обертання, довжини лопатки мішалки та маси рухомої частинки. Врахувати ефективну швидкість матеріалу відносно корпусу чанів в математичній моделі було запропоновано шляхом визначення зміни товщини дисперсного шару м'ятки при обертанні мішалки та відповідно порозності шару. Щоб скористатись формулою (2.28) необхідно знати значення тисків рідини P_p і газу P_Π в порах тіла. У [142] запропоновано наступний підхід визначення P_p і P_Π . Тиск газової суміші представляється сумою парціальних тисків пари P_Π і повітря $P_{пов.}$: $P_\Pi = P_\Pi + P_{пов.}$. З розрахунку процесу сушіння в попередній момент часу відомі значення функцій U_p , U_Π , $U_{пов.}$ і T . Об'ємні частки вологої пористої системи – «скелета» Ψ_Π , рідкої Ψ_p і газової Ψ_Π фаз – представляються виразами: $\Psi_\Pi = 1 - \Pi$, $\Psi_p = U_p / \rho_p$ та $\Psi_\Pi = 1 - \Psi_\Pi - \Psi_p$. Тут Π – пористість тіла, ρ_p – густина рідкої фази. Далі визначаються парціальні густини

пари $\rho_{\text{п}}=U_{\text{п}}/\Psi_{\Gamma}$ і повітря $\rho_{\text{пов.}}=U_{\text{пов.}}/\Psi_{\Gamma}$ в тілі, а потім з рівняння стану для розріджених газів розраховуються парціальні тиски: $P_{\text{п}}=\rho_{\text{п}}R_{\text{у}}T/\mu_{\text{п}}$ і $P_{\text{пов.}}=\rho_{\text{пов.}}R_{\text{у}}T/\mu_{\text{пов.}}$.

Тиск рідкої фази в капілярах пористої системи буде відрізнитись від тиску газової фази на величину капілярного тиску $P_{\text{к}}$, який обумовлений силами поверхневого натягу рідини: $P_{\text{р}}=P_{\text{г}}+P_{\text{к}}$. Для розрахунку капілярного тиску в роботі [142] запропонована формула, згідно якої $P_{\text{к}}$ визначається як середній капілярний тиск рідини в порах одиничного об'єму у заданому інтервалі радіусів пор:

$$P_{\text{к}} = 2\sigma(T) \int_{r_{\text{min}}}^{r_{\text{max}}} \frac{\theta(r)}{r} F(r) dr / \int_{r_{\text{min}}}^{r_{\text{max}}} \theta(r) F(r) dr = \frac{2\sigma(T)}{r^*}, \quad r_{\text{min}} < r^* < r_{\text{max}}, \quad (2.29)$$

Тут $\theta(r)$ – об'ємна частка капіляру, яку займає рідина;

$F(r)$ – диференціальна функція розподілу пор по розмірах;

$\sigma(T)$ – коефіцієнт поверхневого натягу;

r^* – характерний параметр дисперсності розміру пор;

r_{min} і r_{max} – мінімальний і максимальний радіуси пор одиничного об'єму пористої системи.

Диференціальна функція розподілу пор по розмірах для даного матеріалу може бути знайдена з виразу для пористості $\Pi = \int_{r_{\text{min}}}^{r_{\text{max}}} F(r) dr$. З цієї функції може бути визначений параметр r^* .

Об'ємна частка рідини $\theta(r,t)$ в капілярі радіуса r у момент часу t розраховується за виразом $\theta(r,t) = 1 - (1 - \delta/r)^2$, який представляє відношення площі перетину капіляра, зайнятого рідиною, до загальної площі його перетину [141]. Товщина шару конденсату δ на стінках частково заповнених капілярів визначається формулою [141]:

$$\delta = \delta^* (1 - \sqrt{1 - \varphi}). \quad (2.30)$$

Тут δ^* – середня довжина переміщення активізованої частки всередині конденсованого тіла, $\delta^* = A / (\xi n)$, A – енергія активації, ξ – коефіцієнт опору переміщенню частки, що випаровується, до вільної поверхні тіла, n – густина молекул, що випаровуються, $n = U_p N_A / \mu_p$, N_A – число Авогадро, μ_p – молярна маса;

φ – відносна вологість парогазової суміші, що контактує з шаром рідини при даній температурі, $\varphi = P_p / P_H(T)$.

В рівняння (2.25) входить член I_w , що позначає потужність внутрішніх джерел субстанції. В процесах тепло- і масопереносу фазові перетворення представляються внутрішніми джерелами і енергії, і маси речовини.

Для визначення інтенсивності випаровування на зовнішній поверхні тіла застосовується вираз (2.24). Величина φ_T може знаходитись по рівнянню ізотерми десорбції для даного матеріалу, або по формулі (2.30), якщо її представити у вигляді: $\delta = \delta^* \bar{\delta} = \delta^* (1 - \sqrt{1 - \varphi_T})$, звідки $\varphi_T = \bar{\delta}(2 - \bar{\delta})$, де $\bar{\delta}$ – відносна товщина конденсату, яка дорівнює $\bar{\delta} = \delta / \delta^*$ при $0 < \delta < \delta^*$ і $\bar{\delta} = 1$ при $\delta > \delta^*$. З останнього випливає, що у першому періоді сушіння $\varphi_T = 1$.

У другому періоді сушіння об'ємна концентрація рідини на граничній поверхні пористого тіла прагне до нуля і вся рідина, що підходить до поверхні випаровується. В цьому випадку інтенсивність випаровування уздовж координати v зручно знаходити з рівняння збереження енергії для елементарного об'єму, що примикає до граничної поверхні

$$I = -D_p \left. \frac{\partial U_p}{\partial v} \right|_{v=0} - \frac{K_o K_p}{\eta_p} \frac{\partial (P_p U_p)}{\partial v} \quad (2.31)$$

Питома інтенсивність фазових перетворень в капілярах пористого тіла розраховується за виразом [130], що слідує з (2.24), якщо за умови локальної термодинамічної рівноваги, згідно до якої температура всіх контактуючих

компонентів в кожній точці пористого тіла однакова, покласти

$$T|_{v=0} = T_c = T(x, y, z, t) = T :$$

$$I_v = \gamma_v [\exp(A/RT) - 1]^{-1} (\phi_T - \phi). \quad (2.32)$$

Тут $\gamma_v = \varphi_p / 4$ – об'ємний коефіцієнт випаровування;

ϕ – відносна вологість парогазової суміші в порах тіла.

При математичному моделюванні для визначення тиску насичення P_n в залежності від температури зручно користуватись формулою Нікітенко М.І. [130, 141]: $P_n = N_p \sqrt{T} [\exp(A/RT) - 1]^{-1}$, де $N_p = \text{const}$, яка показує гарне узгодження з табличними даними. В інтервалі температур $0 \leq T \leq 100$ °С, коли $N_p = 0,4361 \cdot 10^{10} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{К}^{0,5})$, максимальна похибка відхилення розрахункового від табличного значення P_n складає 3,4%.

Останній член правої частини рівняння переносу субстанції (2.1) містить параметр ε_v і враховує усадку колоїдного капілярно-пористого матеріалу. Відносна об'ємна деформація ε_v представляє функцію компонентів тензора деформації системи $\varepsilon_v = (1 + \varepsilon_{11})(1 + \varepsilon_{22})(1 + \varepsilon_{33}) - 1$. Компоненти тензора деформації ε_{ii} ($i = 1, 2, 3$) визначають відносні подовження уздовж координатних осей і пов'язані з компонентами вектора зміщення u_i : $\varepsilon_{ii} = \partial u_i / \partial x_i$. Значення u_i можуть бути знайдені на основі рівнянь термоконцентраційного деформування Нікітенко М.І. [130, 139] за умови відомих розподілів в тілі температури T , об'ємних концентрацій рідини U_p , парової фази U_n і повітря $U_{\text{пов}}$, а також зовнішніх напруг.

Для випадку пружного деформування пористої системи при відсутності масових сил і динамічних ефектів деформації, рівняння термоконцентраційного деформування в декартових координатах x_i ($i = 1, 2, 3$) має вид

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x_1} \left(G \frac{\partial u_i}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(G \frac{\partial u_i}{\partial x_2} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(G \frac{\partial u_i}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[G_1 \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right) \right] + \\ & + \frac{\partial}{\partial x_1} \left(G \frac{\partial u_1}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(G \frac{\partial u_2}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(G \frac{\partial u_3}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} [N(2G + 3G_1)] = 0 \end{aligned} \quad (2.33)$$

Тут G , G_1 – коефіцієнти Ляме, $G = E_y / [2(1 + \nu_{\Pi})]$, $G_1 = E_y \nu_{\Pi} / [(1 - 2\nu_{\Pi})(1 + \nu_{\Pi})]$; ν_{Π} – коефіцієнт Пуасона; E_y – модуль пружності; N – термоконцентраційна функція, $N = \beta_{IT}(T - T_0) + \sum_{\Psi} \beta_{I\Psi}(\omega_{\Psi} - \omega_{\Psi 0})$ [139], де β_{IT} – коефіцієнт лінійного термічного розширення $\beta_{IT} = (\partial x / \partial T) / x$; $\beta_{I\Psi}$ – коефіцієнтами лінійної усадки, $\beta_{I\Psi} = (\partial x / \partial \omega_{\Psi}) / x$.

Функція N визначає зміну питомого об'єму тіла при вільному розширенні за рахунок процесів теплопровідності, дифузії, фільтрації, фазового та хімічного перетворення. Для тіл найпростішої геометрії (2.33) вирішено [130] аналітично.

Умови висушування зволоженої м'ятки при кондуктивному підведенні енергії забезпечують її самопропарювання в товстому шарі, внаслідок чого температура та вологовміст м'ятки змінюються досить повільно і, як показують візуальні спостереження, ці зміни майже не призводять до усадки. Таким чином можна прийняти, що $\varepsilon_V = 0$.

Розрахунковою областю при дослідженні динаміки тепломасопереносу в процесі жаріння шару м'ятки висотою H в циліндричній жаровні радіуса R , що має одну вісь симетрії для кожного чану, доцільно обрати перетин циліндра, верхньою границею якого буде поверхня $y = H$, $0 \leq r \leq R$ контакту з парогазовим середовищем чану, права $0 \leq y \leq H$, $r = R$ і нижня $y = 0$, $0 \leq r \leq R$ границі контактують з гріючою поверхнею, а ліва границя $0 \leq y \leq H$, $r = 0$ є зовнішньою поверхнею валу турбінної мішалки (рис. 2.9).

У відповідності до умов фізичної постановки задачі висушування зволоженої м'ятки у чанній жаровні та прийнятих припущень, рівняння переносу субстанції (2.31) дещо спрощується: член, пов'язаний з усадкою

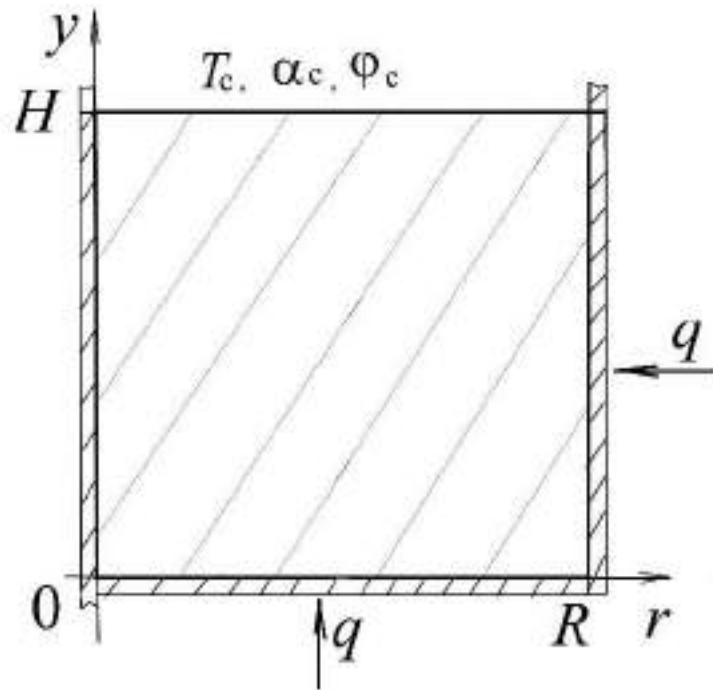


Рисунок 2.9. Розрахункова область.

матеріалу можна опустити; другим членом правої частини у виразі дифузійного масопереносу, пов'язаним з термодифузією, зазвичай можна знехтувати [130]; перенос субстанції (теплоти і маси) відбувається по висоті та уздовж радіуса дисперсного шару.

Тому математична модель тепломасопереносу і фазових перетворень при висушуванні зволоженої м'ятки в кожному чані може бути представлена в наступному вигляді:

$$c_{e\phi} \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial(w_{e\phi r} T)}{\partial r} + \frac{\partial(w_{e\phi y} T)}{\partial y} \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_{e\phi} r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_{e\phi} \frac{\partial T}{\partial y} \right) - LI_V, \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial U_{ж}}{\partial t} + \frac{\partial(w_{ж r} U_{ж})}{\partial r} + \frac{\partial(w_{ж y} U_{ж})}{\partial y} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(D_{ж} r \frac{\partial U_{ж}}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{ж} \frac{\partial U_{ж}}{\partial y} \right) - I_V, \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial U_{п}}{\partial t} + \frac{\partial(w_{п r} U_{п})}{\partial r} + \frac{\partial(w_{п y} U_{п})}{\partial y} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(D_{п} r \frac{\partial U_{п}}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{п} \frac{\partial U_{п}}{\partial y} \right) + I_V, \quad (2.36)$$

$$\frac{\partial U_B}{\partial t} + \frac{\partial(w_{gr}U_B)}{\partial r} + \frac{\partial(w_{gy}U_B)}{\partial y} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(D_B r \frac{\partial U_B}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_B \frac{\partial U_B}{\partial y} \right). \quad (2.37)$$

де T – температура в дисперсному шарі;

$U_{ж}$, $U_{п}$, $U_{в}$ – об'ємні концентрації рідини, пари і повітря в шарі;

L – питома теплота випаровування;

$c_{\text{еф}}$ – ефективна теплоємність шару, $c_{\text{еф}} = c_{\text{т}}\rho_{\text{т}}\Psi_{\text{т}} + c_{\text{ж}}U_{\text{ж}} + c_{\text{п}}U_{\text{п}} + c_{\text{в}}U_{\text{в}}$;

$\lambda_{\text{еф}}$ – ефективна теплопровідність дисперсного шару,

$\lambda_{\text{еф}} = \lambda_{\text{т}}\Psi_{\text{т}} + \lambda_{\text{ж}}U_{\text{ж}}/\rho_{\text{ж}} + \lambda_{\text{п}}U_{\text{п}}/\rho_{\text{п}} + \lambda_{\text{в}}U_{\text{в}}/\rho_{\text{в}}$;

$\Psi_{\text{т}}$ – об'ємна доля «скелета» у дисперсному шарі, $\Psi_{\text{т}} = (1 - \Pi)(1 - \varepsilon_{\text{ш}})$;

D_{ψ} – коефіцієнт дифузії компонента ψ , $\psi = ж, п, в$;

I_V – інтенсивність масообміну між фазами в дисперсному шарі;

$w_{\text{еф}k}$ – ефективна швидкість зв'язаної речовини в напрямку k ($k = y, r$),

$$w_{\text{еф}k} = [w_{\text{ж}k}c_{\text{ж}}U_{\text{ж}} + w_{\text{г}k}(c_{\text{п}}U_{\text{п}} + c_{\text{в}}U_{\text{в}})]/c_{\text{еф}}.$$

Істинні об'ємні концентрації $U_{\text{ж}i}$, $U_{\text{п}i}$, $U_{\text{в}i}$ компонентів зв'язаної речовини в матеріалі (м'ятці) співвідносяться з об'ємними концентраціями у дисперсному шарі наступними співвідношеннями

$$U_{\text{ж}i} = U_{\text{ж}}(1 - \varepsilon_{\text{ш}}), U_{\text{п}i} = \rho_{\text{п}}(\Psi_{\text{г}} + \varepsilon_{\text{ш}}) = U_{\text{п}} + \rho_{\text{п}}\varepsilon_{\text{ш}}, U_{\text{в}i} = \rho_{\text{в}}(\Psi_{\text{г}} + \varepsilon_{\text{ш}}) = U_{\text{в}} + \rho_{\text{в}}\varepsilon_{\text{ш}}. \quad (2.38)$$

Вологовміст м'ятки W може бути виражений через значення як істинної об'ємної концентрації рідкої фази в матеріалі $U_{\text{ж}i}$, так і об'ємної концентрації рідини в дисперсному шарі $U_{\text{ж}}$:

$$W = \frac{U_{\text{ж}i}}{\rho_{\text{т}}(1 - \Pi)} = \frac{U_{\text{ж}i}}{\rho_{\text{м}}} = \frac{U_{\text{ж}}}{\rho_{\text{п}}}. \quad (2.39)$$

Для системи (2.34) – (2.37) необхідно задати умови однозначності.

Початкові умови. Початковими умовами процесу висушування у другому чані жаровні будуть значення температури та об'ємних концентрацій, які м'ятка набуває після вологотеплової обробки у першому чані. Кінцеве значення цих параметрів після другого чану будуть початковими умовами для наступного етапу висушування у третьому чані і т.д.

В загальному випадку початкові умови у циліндричних координатах r, y представляються у наступному вигляді

$$T(r,y,0) = T_0(r,y); U_p(r,y,0) = U_{p0}(r,y); U_n(r,y,0) = U_{n0}(r,y); U_b(r,y,0) = U_{b0}(r,y), \quad (2.40)$$

При пересипанні вологої олійної сировини з чану в чан можна покласти, що в момент початку кожного етапу висушування температура і концентрації компонентів у кожній точці дисперсного шару вирівнюються і дорівнюють середнім об'ємним значенням, які м'ятка досягла по закінченні попереднього етапу обробки. Тиск газової суміші в порах шару дорівнює тиску навколишнього середовища P_c .

Граничні умови тепломасообміну задаються для кожної границі розрахункової області (рис. 2.9). На поверхні $y = H, 0 \leq r \leq R$ контакту м'ятки з газовим середовищем чану реалізуються умови третього роду:

$$\lambda_{\text{эф}} \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=H} = \alpha(T|_{y=H} - T_c) - LI|_{y=H}, \quad (2.41)$$

$$D_{\text{ж}} \frac{\partial U_{\text{ж}}}{\partial y} \Big|_{y=H} + \frac{\partial(w_{\text{ж}y} U_{\text{ж}})}{\partial y} \Big|_{y=H} = I|_{y=H}, \quad (2.42)$$

$$-D_{\text{п}} \frac{\partial U_{\text{п}}}{\partial y} \Big|_{y=H} + \frac{\partial(w_{\text{п}y} U_{\text{п}})}{\partial y} \Big|_{y=H} = \gamma_{\text{п,с}} (U_{\text{п}}|_{y=H} - \rho_{\text{п,с}} \Psi_{\text{п}}), \quad (2.43)$$

$$U_{\text{б}}|_{y=H} = \frac{P_c \Psi_{\text{г}} \mu_{\text{б}}}{R T|_{y=H}} - U_{\text{б}}|_{y=H} \frac{\mu_{\text{б}}}{\mu_{\text{п}}}. \quad (2.44)$$

Інтенсивність фазових перетворень I визначається за формулою (2.24), коли на поверхні $y = H$ величина об'ємної концентрації рідини вища за рівноважне значення (перший період сушіння), і за виразом (2.31), коли вона досягла рівноважного, відповідно до параметрів оточуючого парогазового середовища, значення (другий період сушіння). Умова масообміну між паровою фазою всередині пористого тіла і навколишнім парогазовим середовищем (2.43) представляє рівняння балансу маси пари на зовнішній поверхні тіла. Слід зазначити, що вираз (2.43) задовільняє умовам входження пористого шару в стан рівноваги: при $t \rightarrow \infty$, густина пари в порах матеріалу дорівнює густині пари в оточуючому середовищі $\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{п,с}}$, температура тіла на границі дорівнює температурі навколишнього середовища $T|_{y=H} = T_c$ та $\partial U / \partial y = \partial T / \partial y = 0$.

Об'ємна концентрація повітряної фази на границі $y = H$ визначається з умови, що тиск парогазової суміші у точках тіла біля цієї поверхні дорівнює тиску зовнішнього середовища: $P_{\text{г}}|_{y=H} = P_{\text{п}}|_{y=H} + P_{\text{в}}|_{y=H} = P_c = P_{\text{пс}} + P_{\text{вс}}$.

На границі $0 \leq y \leq H$, $r = 0$ розрахункової області (рис. 2.9) задаються умови симетрії полів температури, об'ємних концентрацій і швидкостей фаз

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial U_p}{\partial r} \right|_{r=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial U_{\text{п}}}{\partial r} \right|_{r=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial U_{\text{ноє}}}{\partial r} \right|_{r=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial w_{pr}}{\partial r} \right|_{r=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial w_{rr}}{\partial r} \right|_{r=0} = 0. \quad (2.45)$$

На правій і нижній границях розрахункової області до м'ятки підводиться кондуктивним шляхом тепловий потік, внаслідок чого відбувається теплообмін, а масоперенос рідини, пари і повітря відсутні. Граничні умови для поверхні $0 \leq y \leq H$, $r = R$ представляються в такий спосіб

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{ст}} \left. \frac{\partial T_1}{\partial \delta_{\text{ст}}} \right|_{r=R} = \lambda_{\text{еф}} \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R}, \quad T_1|_{r=R} = T|_{r=R} + \Delta T; \quad \left. \frac{\partial U_p}{\partial r} \right|_{r=R} = 0; \quad \left. \frac{\partial U_{\text{п}}}{\partial r} \right|_{r=R} = 0; \\ \left. \frac{\partial U_{\text{ноє}}}{\partial r} \right|_{r=R} = 0; \quad \left. \frac{\partial w_{pr}}{\partial r} \right|_{r=R} = 0; \quad \left. \frac{\partial w_{rr}}{\partial r} \right|_{r=R} = 0, \end{aligned} \quad (2.46)$$

і аналогічно для поверхні $y=0$, $0 \leq r \leq R$:

$$\lambda_{ст} \frac{\partial T_{ст}}{\partial \delta_{ст}} \Big|_{y=0} = \lambda_{эф} \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0}, \quad T_{ст} \Big|_{y=0} = T \Big|_{y=0} + \Delta T; \quad \frac{\partial U_p}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0; \quad \frac{\partial U_n}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0;$$

$$\frac{\partial U_{ное}}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0; \quad \frac{\partial w_{py}}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0; \quad \frac{\partial w_{ry}}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0. \quad (2.47)$$

де $\lambda_{ст}$ – теплопровідність металу стінки; $\delta_{ст}$ – товщина стінки; ΔT – різниця температур між стінкою і м'яткою внаслідок газових прошарків, що утворюються при русі вологого шару, $\Delta T = \frac{\delta_{пр}}{\lambda_{г пр}} \partial q_{пр}$, $\delta_{пр}$ – товщина прошарку, $\lambda_{г пр}$ – теплопровідність парогазової суміші в прошарку; $q_{пр}$ – густина теплового потоку через прошарок. Система диференціальних рівнянь (2.34) – (2.37) при заданих граничних умовах (2.41) – (2.47) є істотно нелінійною, рішення якої отримати аналітичним шляхом неможливо. Для її реалізації доцільно використовувати числові методи розрахунку.

2.1.3 Розробка числового методу розрахунку диференціальних рівнянь математичної моделі динаміки тепломасопереносу і фазових перетворень при сушці м'ятки

Рівняння (2.34) – (2.37) містять дифузійні і конвективні члени. Для рішення такого роду рівнянь зазвичай використовуються неявні різницеві схеми [147-149]. Їх основною перевагою є стійкість отриманого рішення, але вагомим недоліком є істотна складність рішення навіть одновимірних лінійних диференціальних рівнянь. В [139], М.І. Нікітенком на основі методу комбінування різницевих схем запропонована явна трьохшарова перерахункова різницева схема. Метод полягає в комбінуванні явних і неявних схем, які множаться на вагові множники і сумуються. Найбільш відомою з таких схем для рішення диференціальних рівнянь параболічного типу є абсолютно стійка схема Кранка-Ніколсона. Трьохшарова перерахункова різницева схема М.І.

Нікітенко розроблена шляхом комбінування різницевого рівняння переносу в явній формі для часового шару t_n та неявної схеми для шарів t_{n-1} та t_{n-2} , і процедури розщеплення [130, 139]. У відповідності до цієї схеми, апроксимація конвективного диференційного рівняння тепло- і масопереносу здійснюється двома різницевиими рівняннями

$$\frac{\bar{T}_m^{n+1} - T_m^n}{l} = -w\delta_x T_m^n, \quad (2.48)$$

$$(1 + \theta)\delta_t T_m^n - \theta\delta_\tau T_m^{n-1} = -w\delta_x \bar{T}_m^{n+1} + a\delta_{xx} \bar{T}_m^{n+1}, \quad \theta > 0, \quad (2.49)$$

де θ – ваговий параметр, $\theta > 0$.

Похідні по часу, та перша і друга похідні по координаті в різницевому вигляді розписуються наступним чином

$$\delta_t T_m^n = \frac{T_m^{n+1} - T_m^n}{l}; \quad \delta_x T_m^n = \frac{T_{m+1}^n - T_{m-1}^n}{2h}; \quad \delta_{xx} T_m^n = \frac{T_{m+1}^n + T_{m-1}^n - 2T_m^n}{h^2}. \quad (2.50)$$

Перше рівняння (2.48) дозволяє визначати зміну шуканого параметра на часовому шарі t_{n+1} внаслідок конвективного переносу, а друге (2.49) – в результаті конвективного і дифузійного переносу. Значення \bar{T}_m^{n+1} у (2.49) стає відомим з (2.48), що робить схему (2.49) явною.

Таким чином рішення рівнянь переносу по явній трьохшаровій перерахунковій різницевій схемі (2.48), (2.49) є достатньо простим, і дозволяє вибирати майже довільно кроки l і h різницевої сітки як для неявної схеми, залишаючи її стійкою.

Різницеві апроксимації диференційних рівнянь тепломасопереносу (2.34) – (2.37) при заданих граничних умовах (2.41) – (2.47) в циліндричних координатах на двохвимірній рівномірній різницевій сітці $r_i = ih$, ($i = 0, 1, \dots, I$; h

= const), $y_m = mh_y$, ($m = 0, 1, \dots, M$; $h_y = \text{const}$), $t_n = nl$ ($n = 0, 1, \dots, l > 0$) згідно вибраної схеми представляються у наступному вигляді:

для рівняння енергії (2.34)

$$\begin{aligned} \frac{\bar{T}_{i,m}^{n+1} - T_{i,m}^n}{l} = & - \left[\left((w_{\text{ефр}} T)_{i+1,m}^n - (w_{\text{ефр}} T)_{i,m}^n \right) - \left((w_{\text{ефр}} T)_{i,m}^n - (w_{\text{ефр}} T)_{i-1,m}^n \right) \right] / (2h^2) - \\ & - \left[\left((w_{\text{ефр}} T)_{i,m+1}^n - (w_{\text{ефр}} T)_{i,m}^n \right) - \left((w_{\text{ефр}} T)_{i,m}^n - (w_{\text{ефр}} T)_{i,m-1}^n \right) \right] / (2h_y^2), \end{aligned} \quad (2.51)$$

$$\begin{aligned} (1 + \Omega_T) \frac{\tilde{T}_{i,m}^{n+1} - \bar{T}_{i,m}^{n+1}}{l} - \Omega_T \frac{T_{i,m}^n - T_{i,m}^{n-1}}{l} = & - \left[\left((w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i+1,m}^{n+1} - (w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i,m}^{n+1} \right) - \right. \\ & \left. \left((w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i,m}^{n+1} - (w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i-1,m}^{n+1} \right) \right] / (2h^2) - \left[\left((w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i,m+1}^{n+1} - (w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i,m}^{n+1} \right) - \right. \\ & \left. - \left((w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i,m}^{n+1} - (w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i,m-1}^{n+1} \right) \right] / (2h_y^2) + \frac{1}{c_{\text{еф}}} \left\{ \frac{1}{2r_{i,m}} \left[(\lambda_{\text{еф}i+1,m} r_{i+1,m} + \lambda_{\text{еф}i,m} r_{i,m}) (\bar{T}_{i+1,m}^{n+1} - \bar{T}_{i,m}^{n+1}) - \right. \right. \\ & \left. - (\lambda_{\text{еф}i,m} r_{i,m} + \lambda_{\text{еф}i-1,m} r_{i-1,m}) (\bar{T}_{i,m}^{n+1} - \bar{T}_{i-1,m}^{n+1}) \right] / h^2 + \left[(\lambda_{\text{еф}i,m+1} + \lambda_{\text{еф}i,m}) (\bar{T}_{i,m+1}^{n+1} - \bar{T}_{i,m}^{n+1}) - \right. \\ & \left. \left. (\lambda_{\text{еф}i,m} + \lambda_{\text{еф}i,m-1}) (\bar{T}_{i,m}^{n+1} - \bar{T}_{i,m-1}^{n+1}) \right] / (2h_y^2) - I_V \right\}; \end{aligned} \quad (2.52)$$

для рівняння переносу маси рідкої фази (2.35)

$$\begin{aligned} \frac{\bar{U}_{pi,m}^{n+1} - U_{pi,m}^n}{l} = & - \left[\left((w_{pr} U_p)_{i+1,m}^n - (w_{pr} U_p)_{i,m}^n \right) - \left((w_{pr} U_p)_{i,m}^n - (w_{pr} U_p)_{i-1,m}^n \right) \right] / (2h^2) - \\ & - \left[\left((w_{py} U_p)_{i,m+1}^n - (w_{py} U_p)_{i,m}^n \right) - \left((w_{py} U_p)_{i,m}^n - (w_{py} U_p)_{i,m-1}^n \right) \right] / (2h_y^2), \end{aligned} \quad (2.53)$$

$$\begin{aligned} (1 + \Omega_p) \frac{\tilde{U}_{pi,m}^{n+1} - \bar{U}_{pi,m}^{n+1}}{l} - \Omega_p \frac{U_{pi,m}^n - U_{pi,m}^{n-1}}{l} = & - \left[\left((w_{pr} \bar{U}_p)_{i+1,m}^{n+1} - (w_{pr} \bar{U}_p)_{i,m}^{n+1} \right) - \right. \\ & \left. \left((w_{pr} \bar{U}_p)_{i,m}^{n+1} - (w_{pr} \bar{U}_p)_{i-1,m}^{n+1} \right) \right] / (2h^2) - \left[\left((w_{py} \bar{U}_p)_{i,m+1}^{n+1} - (w_{py} \bar{U}_p)_{i,m}^{n+1} \right) - \right. \\ & \left. - \left((w_{py} \bar{U}_p)_{i,m}^{n+1} - (w_{py} \bar{U}_p)_{i,m-1}^{n+1} \right) \right] / (2h_y^2) + \frac{1}{2f_{i,m}} \left[(D_{pi+1,m} r_{i+1,m} + D_{pi,m} r_{i,m}) (\bar{U}_{pi+1,m}^{n+1} - \bar{U}_{pi,m}^{n+1}) - \right. \\ & \left. - (D_{pi,m} r_{i,m} + D_{pi,m-1} r_{i,m-1}) (\bar{U}_{pi,m}^{n+1} - \bar{U}_{pi,m-1}^{n+1}) \right]; \end{aligned} \quad (2.54)$$

$$\begin{aligned}
& -\left(D_{p,i,m}r_{i,m} + D_{p,i-1,m}r_{i-1,m}\right)\left(\bar{U}_{p,i,m}^{n+1} - \bar{U}_{p,i-1,m}^{n+1}\right)/h^2 + \left[\left(D_{p,i,m+1} + D_{p,i,m}\right)\left(\bar{U}_{p,i,m+1}^{n+1} - \bar{U}_{p,i,m}^{n+1}\right) - \right. \\
& \left. -\left(D_{p,i,m} + D_{p,i,m-1}\right)\left(\bar{U}_{p,i,m}^{n+1} - \bar{U}_{p,i,m-1}^{n+1}\right)\right]/(2h_y^2) - I_V.
\end{aligned}$$

Аналогічним чином записуються різниці апроксимації переносу маси пари (2.36) і повітря (2.37).

У вузлових точках $(i, 1)$ на границі розрахункової області $y = 0$, $0 \leq r \leq R$ друге рівняння (2.52) різницевої апроксимації диференційного рівняння енергії (2.34) з урахуванням повітряного прошарку товщиною $\delta_{\text{пр}}$ між днищем і вологим шаром та коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{\text{г пр}}$ представляється у наступний спосіб

$$\begin{aligned}
& (1 + \Omega_T) \frac{\tilde{T}_{i,1}^{n+1} - \bar{T}_{i,1}^{n+1}}{l} - \Omega_T \frac{T_{i,1}^n - T_{i,1}^{n-1}}{l} = - \left[\left((w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i+1,1}^{n+1} - (w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i,1}^{n+1} \right) - \right. \\
& \left. \left((w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i,1}^{n+1} - (w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i-1,1}^{n+1} \right) \right] / (2h^2) - \left[\left((w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i,2}^{n+1} - (w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i,1}^{n+1} \right) - \right. \\
& \left. - \left((w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i,1}^{n+1} - (w_{\text{ефр}} \bar{T})_{i,2}^{n+1} \right) \right] / (2h_y^2) + \frac{1}{c_{\text{еф}}} \left\{ \frac{1}{2r_{i,1}} \left[\left(\lambda_{\text{еф}i+1,1} r_{i+1,1} + \lambda_{\text{еф}i,1} r_{i,1} \right) \left(\bar{T}_{i+1,1}^{n+1} - \bar{T}_{i,1}^{n+1} \right) - \right. \right. \\
& \left. \left. - \left(\lambda_{\text{еф}i,1} r_{i,1} + \lambda_{\text{еф}i-1,1} r_{i-1,1} \right) \left(\bar{T}_{i,1}^{n+1} - \bar{T}_{i-1,1}^{n+1} \right) \right] / h^2 + \left[\frac{\left(\lambda_{\text{еф}i,2} + \lambda_{\text{еф}i,1} \right)}{2h_y} \left(\bar{T}_{i,2}^{n+1} - \bar{T}_{i,1}^{n+1} \right) - \right. \right. \\
& \left. \left. - \frac{1}{\frac{h_y}{\lambda_{\text{еф}i,1}} + \frac{\delta_{\text{пр}}}{\lambda_{\text{г пр}}}} \left(\bar{T}_{i,1}^{n+1} - \bar{T}_{\text{ст}}^{n+1} \right) \right] / (h_y + \delta_{\text{пр}}) - I_V \right\}.
\end{aligned} \tag{2.55}$$

Погрішність апроксимації вибраних різницевих схем має порядок $l + h^2 + h_y^2$.

Необхідні умови стійкості різницевих рівнянь (2.53) – (2.55):

$$l \leq \left\{ \frac{(1 + 2\Omega)}{[2\nu(h^{-2} + h_y^{-2})]}; \left(\frac{w_r}{h} + \frac{w_y}{h_y} \right)^{-1} \right\}, \tag{2.56}$$

де параметр ν для рівняння енергії приймає значення $\lambda_{\text{еф}}/c_{\text{еф}}$, для рівнянь переносу маси рідини, пари і повітря відповідно значення D_p , $D_{\text{п}}$, $D_{\text{пов}}$. Також, в рівняння масопереносу підставляються відповідні значення компонентів швидкості фаз w_{pk} , $w_{гk}$ зв'язаної речовини, а в рівняння енергії – ефективну швидкість речовини $w_{\text{еф}k}$ ($k = r, y$).

Ваговий параметр θ дозволяє збільшити крок за часом. Як показують числові дослідження, без суттєвого погіршення точності рішення, θ можна прийняти у межах $1 \div 3$.

Розрахунковий крок за часом l для сумісного вирішення системи рівнянь (2.34) – (2.37) числовим методом вибирається після визначення кроку l_{ψ} по (2.56) для кожного з рівнянь – переносу енергії ($\psi = T$), маси рідини ($\psi = p$), маси пари ($\psi = \text{п}$) та маси повітря ($\psi = \text{пов}$) – як мінімальний з l_{ψ} ($\psi = T, p, \text{п}, \text{пов}$).

Різницеві рівняння, що апроксимують граничні умови дифузійно-фільтраційного тепломасопереносу (2.41) – (2.44) для граничної поверхні, яка лежить у координатній площині $x_1 = 0$, представляються у вигляді

$$\lambda \frac{T_{i,M-1}^{n+1} - T_{i,M}^{n+1}}{h_y} = \alpha(T_{i,M}^{n+1} - T_c) - L\gamma_c \left\{ \varphi_{\text{т}} \left[\exp\left(\frac{A}{R_y T_{i,M}^n}\right) - 1 \right]^{-1} - \varphi_c \left[\exp\left(\frac{A}{R_y T_c}\right) \right]^{-1} \right\}, \quad (2.57)$$

$$D_p \left(\frac{U_{pi,M-1}^{n+1} - U_{pi,M}^{n+1}}{h_y} + \delta_{\text{жс}} \frac{T_{i,M-1}^{n+1} - T_{i,M}^{n+1}}{h_y} \right) + U_{pi,M} \frac{K_0 K_p}{\eta_p} \times \\ \times \frac{P_{pi,M-1}^n - P_{pi,M}^n}{h_y} = \gamma_c \left\{ \varphi_{\text{м}} \left[\exp\left(\frac{A}{R_y T_{i,M}^n}\right) - 1 \right]^{-1} - \varphi_c \left[\exp\left(\frac{A}{R_y T_c}\right) - 1 \right]^{-1} \right\}, \quad (2.58)$$

$$D_{\text{п}} \left(\frac{U_{\text{п}i,M-1}^{n+1} - U_{\text{п}i,M}^{n+1}}{h_y} + \delta_{\text{п}} \frac{T_{i,M-1}^{n+1} - T_{i,M}^{n+1}}{h_y} \right) + U_{\text{п}i,M} \frac{K_0 K_{\text{п}}}{\eta_{\text{п}}} \frac{P_{\text{п}i,M-1}^n - P_{\text{п}i,M}^n}{h_y} = \\ = -\gamma_{\text{пс}} (U_{\text{п}i,M} - \rho_{\text{пс}} \Psi_{\text{г}}) \quad (2.59)$$

$$U_{вi,M} = \frac{P_c \Psi_{\Gamma} \mu_{в}}{R_y T_{i,M}} - U_{пi,M} \frac{\mu_{в}}{\mu_{п}}. \quad (2.60)$$

У процесі рішення задачі тепломасопереносу при жарінні м'ятки, значення компонентів вектора фільтраційної швидкості w , а також коефіцієнтів $\lambda_{сф}$, D_p , $D_{п}$ і $D_{пов}$ змінюються. Тому умови стійкості (2.62) перевіряються перед кожним часовим кроком.

2.1.4 Розробка алгоритму розрахунку диференціальних рівнянь математичних моделей

На базі розроблених математичної моделі динаміки процесів тепломасопереносу і фазових перетворень при жарінні дисперсного шару пористого матеріалу в багаточанній жаровні і **числового методу** її реалізації створено програмний комплекс, що об'єднує підпрограми розрахунку процесу для кожного чану. В основі побудови програмного комплексу лежить такий алгоритм.

Алгоритм розрахунку. Сіткові функції T_{km}^n , U_{pkm}^n , $U_{пkm}^n$, $U_{повkm}^n$, які характеризують стан вологої дисперсної системи і представляють наближені рішення рівнянь (2.14) – (2.17) при граничних умовах (2.21) – (2.23) визначаються у наступній послідовності.

1. Задаються вихідні дані, що враховують природу вологого матеріалу (теплофізичні властивості та пористість), початковий (T_{km}^0 , U_{pkm}^0 , $U_{пkm}^0$, $U_{повkm}^0$) та кінцевий стани, геометричні характеристики (форму, розміри та порозність дисперсного шару), енергія активації та дифузійні коефіцієнти, параметри парогазової суміші, що контактує з вологим матеріалом у чані, температура та тиск глухої пари, теплопровідність та розміри стінок чанів.

2. Обчислюються величини, які в процесі рахунку залишаються незмінними та визначаються в залежності від геометрії і теплофізичних параметрів пористого матеріалу (γ_c , γ_v , $\varepsilon_{ш}$, W_0 та ін.).

3. В пам'яті ПЕОМ створюється два однакових масиви комірок W_{km}^n та W_{km}^{n+1} ($W = T, W, U_p, U_p, U_{пов.}, P, P_p, P_{пов.}, \rho_T, \rho_p, \rho_{пов.}$) для фіксування в них початкових ($n = 0$) значень сіткових функцій $T_0, W_0, U_{p0}, U_{p0}, U_{пов0}, P_0, P_{p0}, P_{пов0}, \rho_{p0}, \rho_{пов0}$ і поточних ($n > 0$), що знаходяться на кожному наступному часовому кроці в результаті рішення системи різницевих рівнянь після завдання кроків різницевої сітки.

4. Проводяться операції по визначенню кроків різницевої сітки:

- задається кількість кроків по координатам і визначаються їх розміри;
- для кожного різницевого рівняння визначаються умови стійкості відповідно до першого виразу (2.32) і вибирається мінімальне з отриманих значення кроку по часу l_0 ;

- створюється цикл по просторовим координатам i та m для обчислення швидкостей конвективного руху компонентів зв'язаної речовини;

- визначається значення часового кроку l_ψ у відповідності до другого виразу (2.32) і остаточно уточнюється величина l кроку як мінімальний з l_ψ ($\psi = T, p, p, пов$).

5. Обчислюється час $t_{n+1} = t_n + l = (n+1)l$ та задані в залежності від часу функції, які входять в різницеві апроксимації умов на зовнішніх границях матеріалу.

6. Обчислюються величини, які залежать від локальних значень об'ємних концентрацій компонентів зв'язаної речовини та температури шару пористого матеріалу та входять в формули, які замикають систему диференціальних рівнянь (2.1), (2.2), (2.4)–(2.10).

7. Значення \bar{T}_{im}^{n+1} , \bar{U}_{pim}^{n+1} , \bar{U}_{nim}^{n+1} та $\bar{U}_{новim}^{n+1}$ для внутрішніх точок шару обраховуються по явним різницеvim рівнянням виду (2.27), (2.29) у першому наближенні без урахування молекулярного механізму переносу кожної субстанції. За різницеvim рівняннями виду (2.28), (2.30) визначаються функції \tilde{T}_{im}^{n+1} , \tilde{U}_{pim}^{n+1} , \tilde{U}_{nim}^{n+1} та $\tilde{U}_{новim}^{n+1}$ в другому наближенні, де визначається на них вплив дифузійного і фільтраційного механізмів переносу.

8. Обраховуються значення на часовому кроці $n+1$ шуканих функцій T , U_p , U_n , $U_{пов}$, для кожної граничної поверхні в окремо створених циклах.

9. Знайдені на шарі $n+1$ значення шуканих функцій служать вихідними даними для наступного кроку вздовж координати z .

10. Середні значення U_p^{n+1} , U_n^{n+1} , $U_{нов}^{n+1}$ і T^{n+1} обчислюються через знайдені за рівняннями виду (2.29) – (2.32) значення сіткових функцій \bar{U}_{kp}^{n+1} , $\bar{U}_{kn\pi}^{n+1}$ і \bar{T}_{kn}^{n+1} за допомогою формули трапецій. Ці величини в кінці кожного етапу вологотеплової обробки у даному чані є вихідними для наступного етапу обробки.

Створені програмні комплекси дозволяють досліджувати динаміку і кінетику висушування м'ятки рицини в чанній жаровні, оцінюючи вплив на інтенсивність проходження процесу різних параметрів.

2.1.5 Результати визначення кінетики і динаміки зневоднення і пропарювання м'ятки в багаточанній жаровні

На основі розроблених математичної моделі і числового методу рішення диференціальних рівнянь проведений розрахунок динаміки і кінетики висушування м'ятки рицини в дослідній семичанній жаровні з внутрішнім діаметром 1 м. Висота шару м'ятки в кожному чані у нерухомому стані складала $h = 0,21$ м. З даних проведеного розрахунку гідродинаміки мезги в чанній жаровні при вологотепловій підготовці до вилучення олії, відстань яку проходить частинка м'ятки при обертанні турбінної мішалки з частотою 50 об/хв дорівнює 1 м (рис. 2.4). Рухаючись спочатку горизонтально уздовж лопатки мішалки, а потім відриваючись від неї вертикально, паралельно бічній стінці чана, частинки олійної сировини піднімаються на висоту 0,5 м, створюючи разом шар з зазначеною середньою висотою H (рис. 2.9). В залежності від шляху вертикального руху частинок збільшується порозність дисперсного шару

$$\varepsilon_{ш} = 1 - \frac{h}{H}. \quad (2.61)$$

Для товщини $H = 0,5$ м порозність шару дорівнює $\varepsilon_{ш} = 0,6$. Площа нагріву м'ятки в кожному чані, з урахуванням нижньої і бічної поверхонь, складає $2,355 \text{ м}^2$.

Пара, що утворюється в процесі висушування, видалається через відповідну трубу, підведену до кожного чану жаровні. Тобто можна покласти, що відносна вологість та температура парогазової суміші, що контактує з вологим шаром в кожному чані будуть незмінними.

На основі хімічного складу м'ятки рицини розраховано питому теплоємність її сухої жирної речовини $c_T = 1,915 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$. Решта фізичних характеристик м'ятки визначались з [147, 148]: $\lambda_T = 0,15 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\rho_m = 1025 \text{ кг/м}^3$; $\Pi = 0,385$. Дані по рівноважному вологовмісту олійної сировини W_p , що необхідні при визначенні вологості тіла φ_T , яка входить у формули для інтенсивності випаровування рідини на поверхні і в порах матеріалу досить добре апроксимуються залежністю $W_p = 20,3\varphi^3 - 3,2\varphi^2 + 3,03$.

Початкові параметри дисперсного шару м'ятки і контактуючого газового середовища: $T_0 = 83 \text{ }^\circ\text{C}$; $W_0 = 13,5 \text{ \%}$; $U_{0ж} = 55,4 \text{ кг/м}^3$ (у відповідності до першого з виразів (2.18) та (2.19) початкова істинна об'ємна концентрація рідини у м'ятці $U_{0жі} = 138,5 \text{ кг/м}^3$); $T_c = 75 \text{ }^\circ\text{C}$; $P_c = 0,1 \text{ МПа}$; $P_{пс} = 0,25 \text{ МПа}$; $A = A_D = 0,4205 \cdot 10^8 \text{ Дж/кмоль}$. Тривалість вологотеплової обробки в кожному чані дослідної жаровні однакова і складає 514 с. Загальний час обробки 60 хв, в якому жарінню в шести чанах відведено 54 хв.

Розрахунок на базі системи рівнянь (2.14) – (2.17) при умовах однозначності (2.20) – (2.23) охоплював весь процес зневоднення м'ятки в шести чанах жаровні (з другого по сьомий). Верифікація математичної моделі проводилась шляхом порівняння результатів математичного моделювання з результатами, отриманими з розрахунків матеріального і теплового балансів для кожного чану в процесі висушування м'ятки. На рис. 2.10 представлено отримані на базі математичного моделювання графіки середніх значень вологовмісту і температури м'ятки в процесі повного циклу висушування в багаточанній жаровні та результати балансових розрахунків дискретних значень середнього вологовмісту м'ятки після

кожного чану жаровні та її початкової температури. Криві зміни вологовмісту мають періоди постійної і падаючої швидкості, що відповідає реальному проходженню процесу. Середня температура м'ятки в процесі висушування досить істотно підвищується при кожному пересипанні в наступний чан, що можна пояснити збільшенням кількості окремих частинок дисперсного шару, що потрапляють в зону контакту з гріючими глухою паровою поверхнями чану. Температура м'ятки протягом висушування у другому і третьому чанах спочатку дещо знижується внаслідок інтенсивного випаровування води з шарів, що контактують з гріючими поверхнями, а потім підвищується. Це можна пояснити частковою конденсацією пари на віддалених від поверхонь теплообміну частинках сировини. В наступних чанах відбувається поступальне вирівнювання середньої температури всіх частинок дисперсного шару м'ятки і процесу конденсації пари не спостерігається. Пропарювання м'ятки супроводжується переносом парової фази до зовнішньої поверхні шару і вихід її в навколишнє середовище. При цьому середня температура зволоженої сировини в кожному чані жаровні монотонно незначно знижується.

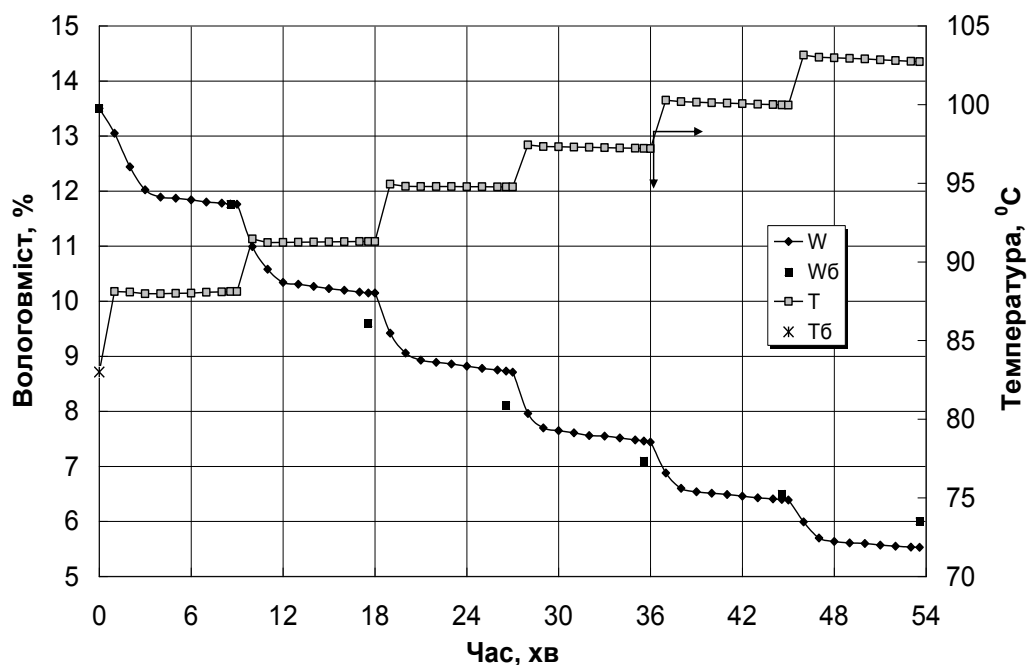


Рисунок 2.10. Зміна в часі середніх значень температури і вологовмісту м'ятки в процесі висушування в багаточанній жаровні отримані на базі математичної моделі (лінії) та шляхом балансових розрахунків (точки).

В процесі пропарювання дисперсного шару в кожному чані середня температура матеріалу дещо знижується внаслідок випаровування вологи, а також в результаті прямого виходу пари, що утворюється, з жаровні в навколишнє середовище. Значення середнього вологовмісту м'ятки в кінці кожного етапу висушування при вибраній тривалості обробки отримані шляхом числових та балансових розрахунків досить добре узгоджуються. Максимальна похибка відхилення складає 7%. Кінцевий вологовміст і температура сировини у попередньому чані є початковими для математичного моделювання процесу висушування в наступному чані. Поля локальних значень температури та концентрації вологи по об'єму дисперсного шару м'ятки кожного чану при сформульованих фізичних і геометричних умовах однозначності можуть бути істотно нерівномірними. Результати математичного моделювання динаміки тепло- і масопереносу в процесі висушування м'ятки це підтверджують.

На рис. 2.11 – 2.13 зображено розрахункові криві зміни об'ємної концентрації рідкої фази $U_{ж}$ по товщині дисперсного шару H (рис. 2.9) м'ятки у характерних перетинах уздовж радіальної координати r кожного чану жаровні в момент часу 8 хв. Розглянуто середній перетин $r = R/2$ (рис. 2.11) і граничні випадки – біля гарячої бічної поверхні $r = R$ (рис. 2.12) та біля поверхні $r = 0$ валу турбінної мішалки (рис. 2.13). При проведенні числових експериментів просторова сітка по товщині H будувалась на 8 кроків, тобто крок по товщині $h_y = H/8$. Вузлова точка 1 для кожного чану відповідає поверхні $y = 0$ контакту м'ятки з днищем, а точка 9 – поверхні $y = H$ контакту з газовим середовищем, в яке потрапляє пара, що утворюється при жарінні.

Момент часу 8 хв відповідає майже закінченню процесу висушування мезги у кожному чані. У періоді падаючої швидкості сушіння концентрація рідкої фази на поверхні матеріалу, що контактує з зовнішнім газовим середовищем дорівнює рівноважному значенню. Таким чином об'ємна концентрація рідини U_p у вузлових точках 9 відповідає рівноважному значенню при заданій температурі T_c і відносній вологості φ_c газового середовища в чанах. При контакті м'ятки з гарячими

днищами чанів (точка 1) відбувається її інтенсивне зневоднення. Відповідно об'ємна концентрація U_p знижується швидше, ніж у внутрішніх точках.

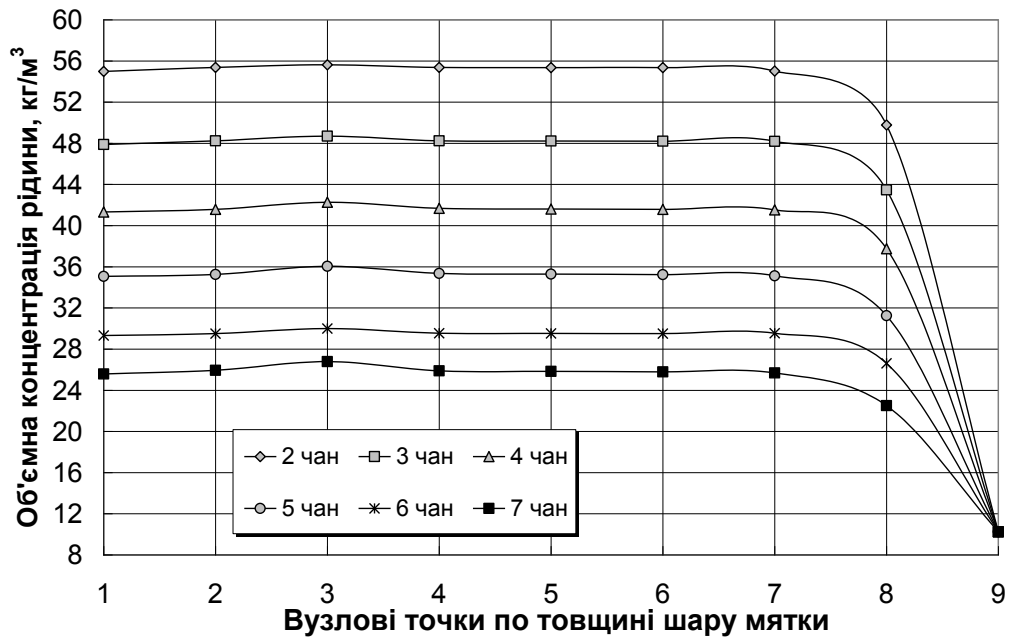


Рисунок 2.11. Зміна об'ємної концентрації рідкої фази U_p при висушуванні м'ятки в перерізі $r=R/2$, $0 \leq y \leq H$ у кожному чані в момент часу 8 хв.

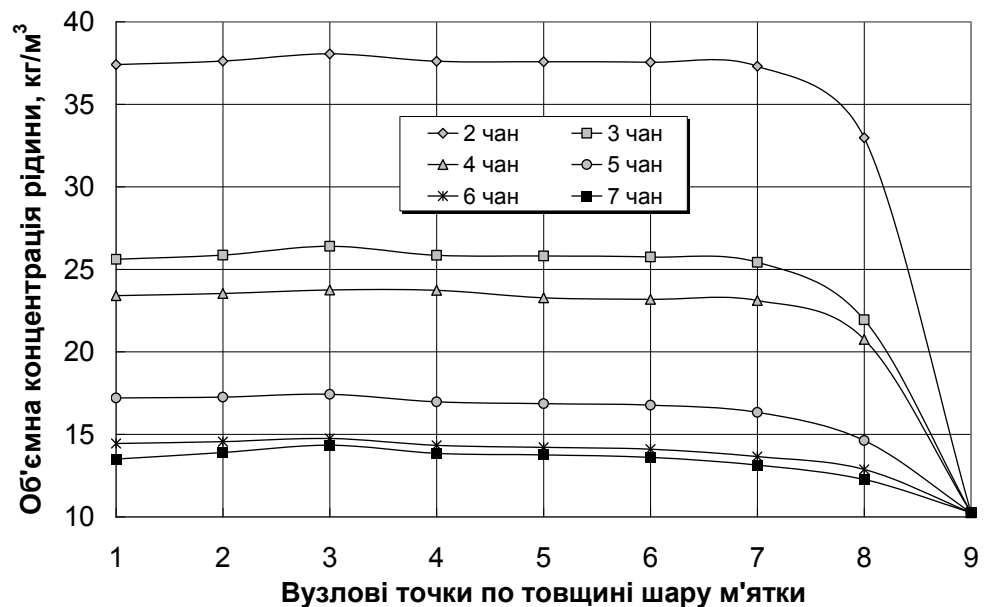


Рисунок 2.12. Зміна об'ємної концентрації рідкої фази U_p при висушуванні м'ятки в перерізі $r=R$, $0 \leq y \leq H$ у кожному чані в момент часу 8 хв.

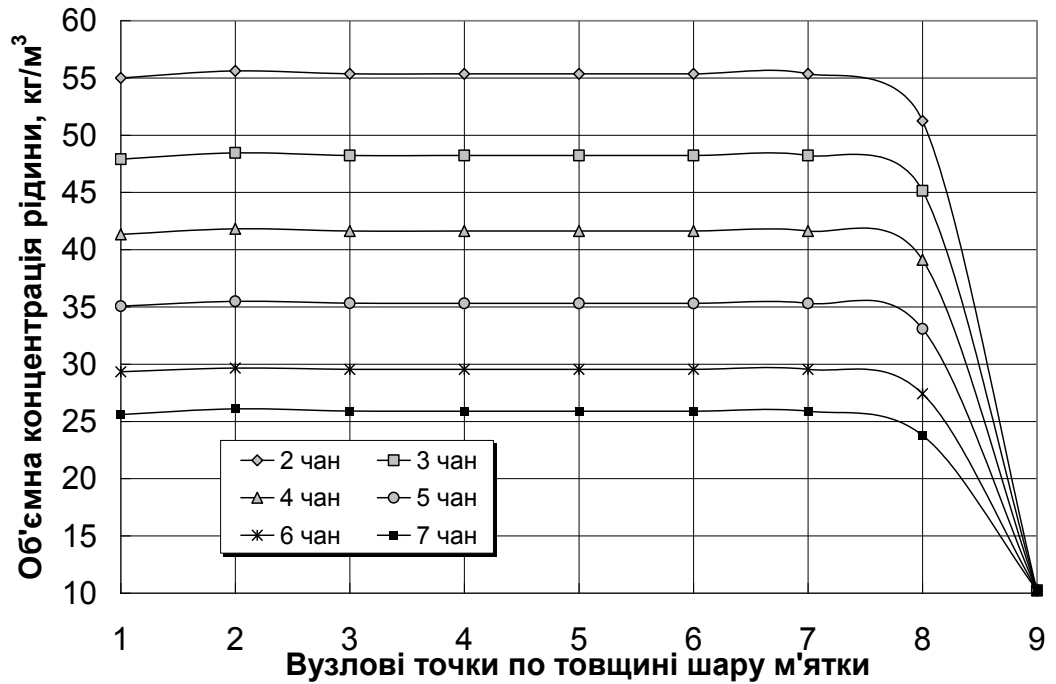


Рисунок 2.13. Зміна об'ємної концентрації рідкої фази U_p при висушуванні м'ятки в перерізі $r=0$, $0 \leq y \leq H$ у кожному чані в момент часу 8 хв.

Пара, що утворюється в прилеглих до днищ шарах, досить вільно проходить крізь дисперсний шар, частково конденсуючись та підвищуючи вологовміст, і відповідно $U_{ж}$ середніх прошарків.

Це явище спостерігається на всіх етапах висушування м'ятки – і у внутрішніх перетинах (рис. 2.11, 2.13) шару, і у перетині $r = R$ біля бічної стінки чанів (рис. 2.12), де зневоднення проходить більш інтенсивно. В кожному наступному чані початкова об'ємна концентрація рідчини в м'ятці нижча, ніж у попередньому – процес висушування супроводжується поступовим зневодненням сировини.

На рис. 2.14 – 2.16 представлено криві зміни температури по товщині H шару м'ятки на кожному етапі висушування в тих же характерних перетинах уздовж радіусу чанів в момент 8 хв.

У внутрішніх перетинах $r = 0$ (рис. 2.15) і $r = R/2$ (рис. 2.16) характер зміни температури збігається – найбільших значень м'ятка досягає у вузлових точках біля днища чанів (1), в середніх точках шарів в результаті часткової

конденсації пари температура помітно не змінюється і мінімальні значення мають місце на зовнішній границі шарів $y = H$ (точки 9).

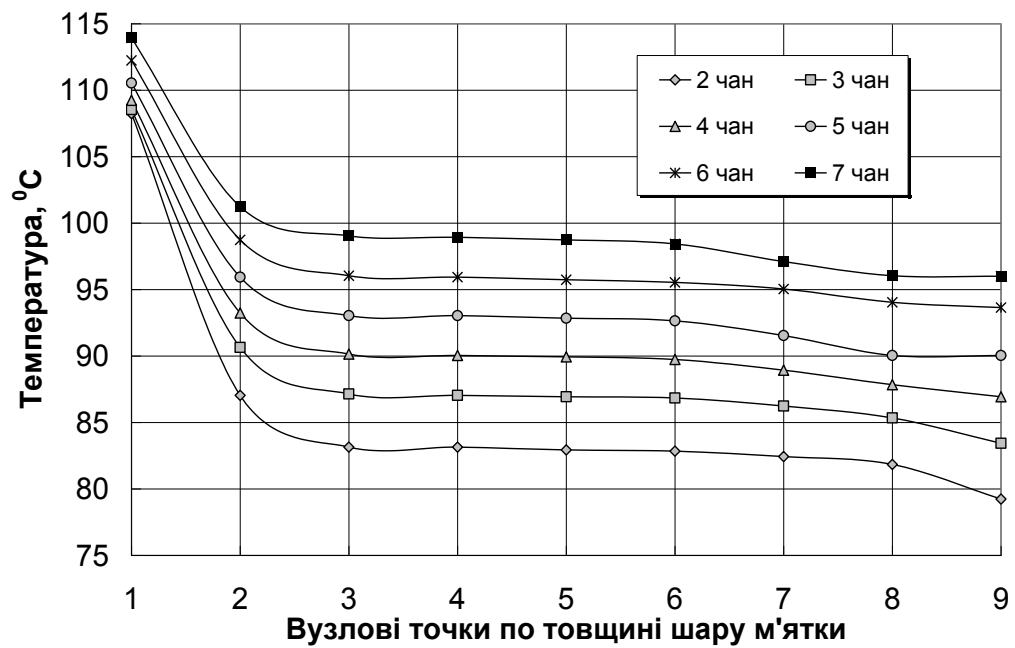


Рисунок 2.14. Зміна температури T м'ятки по товщині шару у перерізі $r = R/2$, $0 \leq y \leq H$ кожного чану в процесі висушування в момент часу 8 хв.

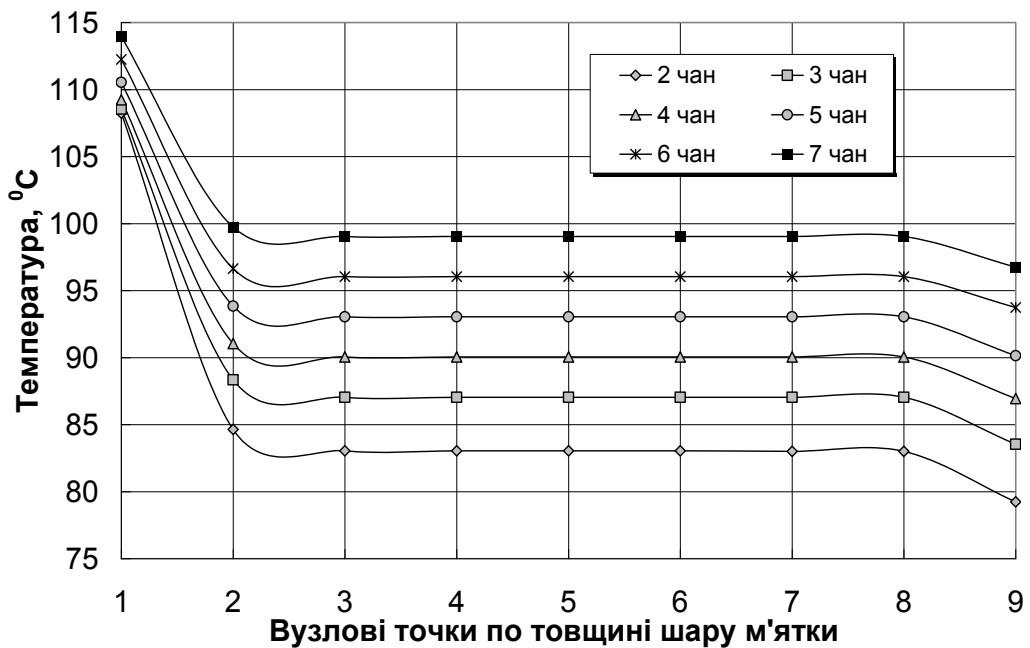


Рисунок 2.15. Зміна температури T м'ятки по товщині шару у перерізі $r = 0$, $0 \leq y \leq H$ кожного чану в процесі висушування в момент часу 8 хв.

Максимальна температура олійної сировини досягається в областях її контакту з бічними гріючими поверхнями чанів (рис. 2.16). Вона перевищує температуру м'ятки біля днищ чанів, оскільки лопатки турбінної мішалки створюють між вологим шаром і днищем газовий прошарок і запобігають його тривалому контакту з гарячою поверхнею.

Термічний опір контакту м'ятки з бічними поверхнями чанів буде меншим, за рахунок центробіжної сили, що створює турбіна, та спрямовує частинки розташовані біля днища саме у радіальному напрямку, де вони досягають бічної гріючої поверхні, вздовж якої потім рухаються вгору. Область біля бічних поверхонь чанів є найбільш критичною з точки зору збереження корисних властивостей м'ятки.

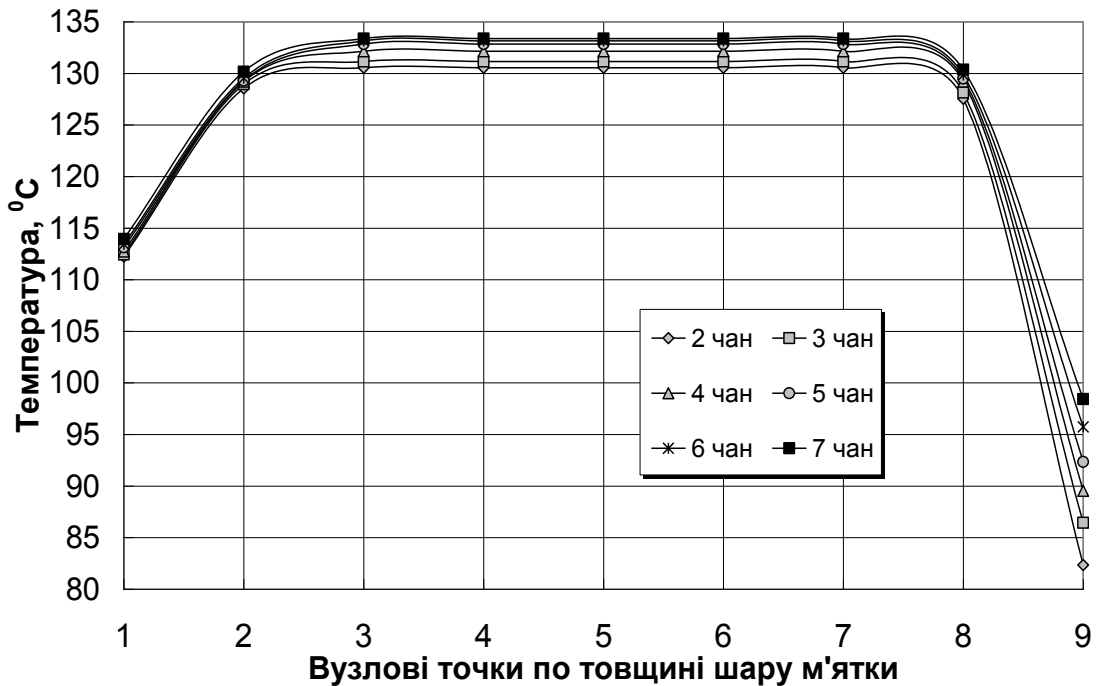


Рисунок 2.16. Зміна температури T м'ятки по товщині шару у перерізі $r = R$, $0 \leq y \leq H$ кожного чану в процесі висушування в момент часу 8 хв.

Кутова швидкість обертання мішалки змінює ефективну товщину дисперсного шару м'ятки та відповідно його загальну порозність. Для оцінки впливу цих параметрів на інтенсивність нагрівання і зневоднення м'ятки в

процесі жаріння було проведено числові експерименти для різних значень товщини шару H , які згідно (2.31) визначали порозність $\epsilon_{ш}$ шару.

Розглядалися випадки: $H = 0,4$ м, $\epsilon_{ш} = 0,5$ (криві 1); $H = 0,5$ м, $\epsilon_{ш} = 0,6$ (криві 2); $H = 0,3$ м, $\epsilon_{ш} = 0,33$ (криві 3). Температура поверхонь теплообміну чану задавалась 150 °С.

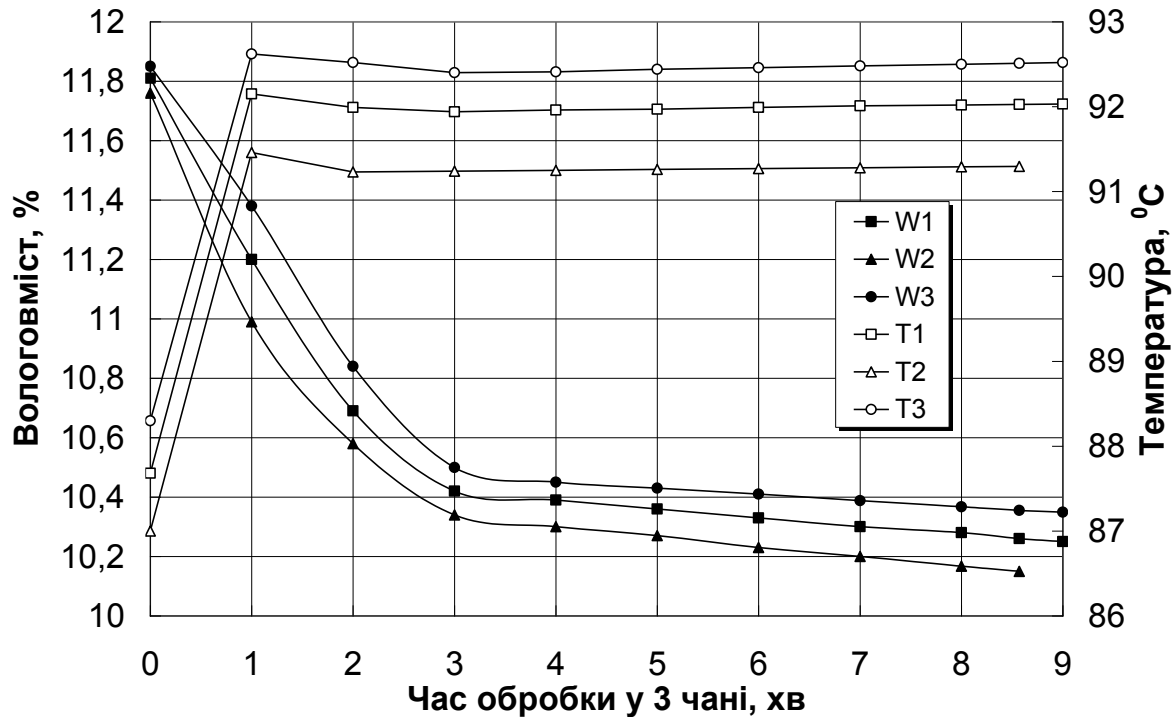


Рисунок 2.17. Графіки зміни середніх значень вологовмісту та температури м'ятки в процесі висушування у третьому чані для різних значень товщини і порозності дисперсного шару: $H = 0,4$ м, $\epsilon_{ш} = 0,5$ (криві 1); $H = 0,5$ м, $\epsilon_{ш} = 0,6$ (криві 2); $H = 0,3$ м, $\epsilon_{ш} = 0,33$ (криві 3).

На рис. 2.17 зображено розрахункові криві зміни в часі середніх вологовмісту W і температури T м'ятки при висушуванні у третьому чані жаровні для вказаних значень H і $\epsilon_{ш}$. Криві з позначенням 2 відповідають таким же умовам жаріння, що і результати кінетики і динаміки, які представлені на рис. 2.10 – 2.16. При зменшенні товщини вологого матеріалу (криві 1 і 3), його прогрівання стає швидшим. Однак зменшення об'єму транспортних пор у дисперсному шарі сприяє ускладненню пароавідведення та сповільнює зниження середнього вологовмісту м'ятки в процесі висушування. Вплив

геометричних характеристик H і $\epsilon_{ш}$ дисперсного шару на зміну середніх вологовмісту W і температури T м'ятки в інших чанах жаровні має аналогічну картину.

В залежності від масштабів олійного виробництва доцільно використовувати апарати волого-теплової обробки олійної сировини оптимальної продуктивності. Продуктивність багаточанної жаровні можна регулювати шляхом зміни геометричних параметрів чанів. Розроблена математична модель дозволяє розраховувати процес висушування в апаратах циліндричної конфігурації будь-яких розмірів, задаючи їх при побудові різницевої сітки. На основі математичної моделі проведено розрахунок процесу висушування м'ятки рицини в апараті, який містить 7 чанів діаметром 1,58 м. В першому чані відбувається зволоження мезги, а в наступних чанах здійснюється її пропарювання і зневоднення. Вихідні параметри м'ятки після зволоження та товщина нерухомого дисперсного шару приймалися такими ж як для попередніх розрахунків. Висота дисперсного шару при обертанні турбінної мішалки покладалась $H = 0,5$ м, що відповідає порозності шару $\epsilon_{ш} = 0,6$. На рисунку 2.18 представлено результати розрахунку середніх вологовмісту і температури м'ятки в процесі повного циклу зневоднення в 6 чанах.

Час висушування в кожному чані приймався однаковим і визначався часом досягнення середнього вологовмісту м'ятки $W = 11,76$ % наприкінці обробки у другому чані, у відповідності до проведених в роботі балансових розрахунків.

Порівнюючи представлені результати з даними на рисунку 2.2, що отримані для жаровні з чанами радіусом 1 м, можна зробити наступні висновки. Тривалість зневоднення м'ятки рицини у другому чані до зазначеного вологовмісту збільшилась на 40 % при збільшенні діаметру чана на 60 % та при однакових інших умовах. Це пояснюється тим, що більший об'єм вологого матеріалу повільніше прогрівається: середня температура м'ятки після другого чану діаметром 1 м складала 88 °С, наприкінці процесу 103 °С, а відповідні значення температури, що досягав матеріал у жаровні з чанами діаметром

1,58 м дорівнюють 85,6 °С та 97 °С. При цьому кінцевий вологовміст, що досягла м'ятка в кожному апараті є майже однаковим.

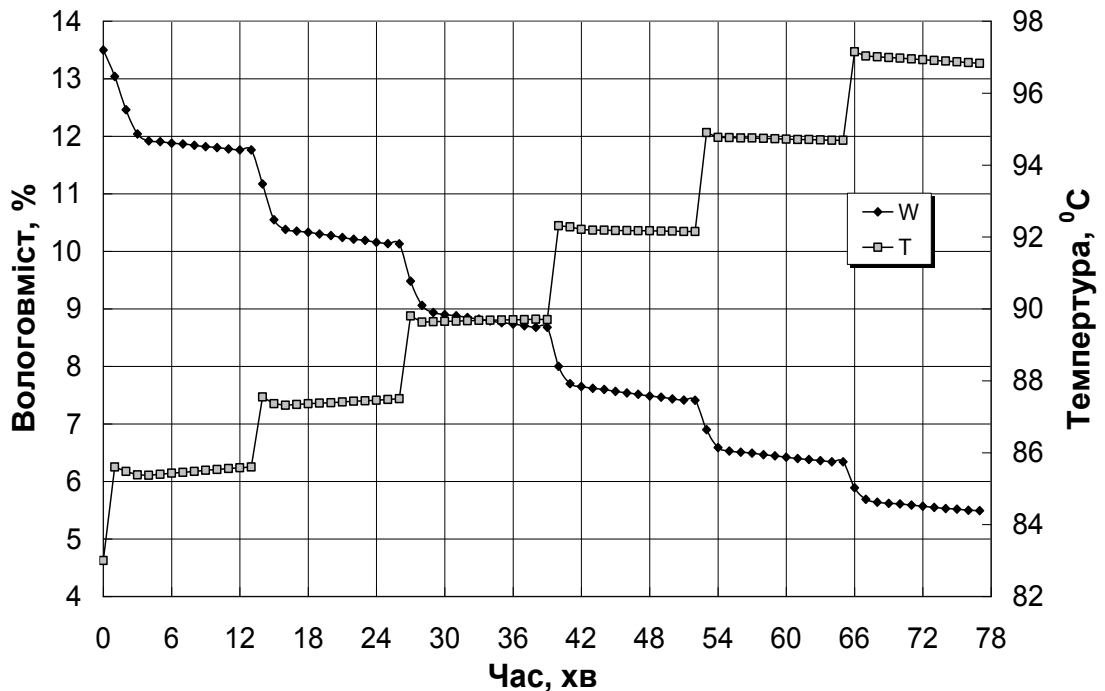


Рисунок 2.18 Зміна в часі середніх значень температури і вологовмісту м'ятки в процесі висушування в чанній жаровні для семи чанів

Відомо, що основним параметром, який дозволяє інтенсифікувати процес зневоднення вологої пористої системи є температура [134] теплоносія або теплообмінної поверхні.

Однак застосування цього заходу при організації процесу висушування олійновмісної сировини не є доцільним, оскільки температура частинок м'ятки, що контактують з гарячою бічною поверхнею чанів може істотно перевищувати гранично допустиму температуру 115 °С.

На рисунку 2.19 представлено зміну температури по товщині H шару м'ятки в межах бічної гріючої поверхні на початковій стадії пропарювання і зневоднення (2 чан) та на останньому етапі (7 чан) висушування в момент часу 12 хв. Як і для апарату з діаметром чанів 1 м (рис. 2.16), температура сировини в цих точках перевищує визначену для олійної сировини гранично допустиму температуру, тривалий вплив якої може призводити до втрати якісних показників олії.

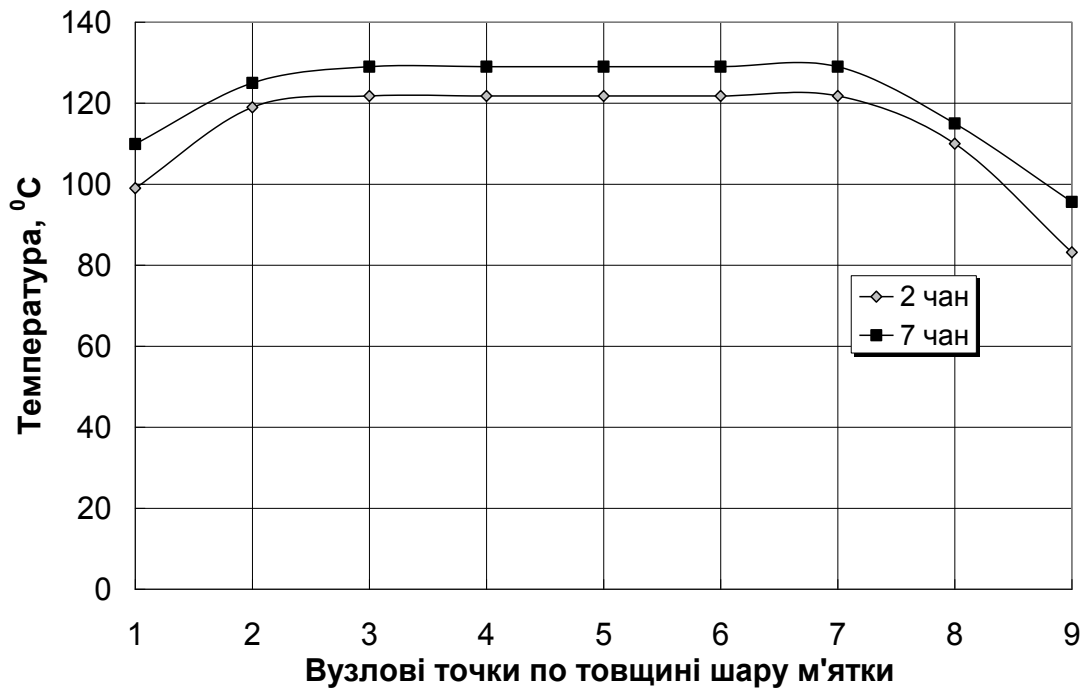


Рисунок 2.19. Зміна температури T м'ятки рицини по товщині шару в перерізі $r = R$, $0 \leq y \leq H$ у другому і сьомому чанах жаровні (діаметром 1,58 м) в процесі висушування у момент часу 12 хв.

Однак слід зазначити, що рух дисперсного шару під дією турбінної мішалки при побудові математичної моделі враховувався не прямо, а через збільшення товщини і порозності шару. Є підстава вважати, що час контакту частинок з гріючими поверхнями буде таким, що не дозволить їм досягати температури вище гранично допустимої для даного виду сировини.

Розробка будь-якої промислової технології має загальноприйнятту схему: проведення досліджень процесів, якими ця технологія супроводжується (фізичне або математичне моделювання); апробація технології у промислових умовах; уточнення визначальних параметрів, на основі яких уточнюється математична модель або результати експериментальних досліджень, отриманих у лабораторних умовах.

Приклад розрахунку семичанної жаровні з прив'язкою до умов малотоннажного виробництва потужністю 625 кг/год (15 т/добу), наведено в розділі 5.

2.2. Математичне моделювання процесу очищення пресової рицинової олії

2.2.1. Розробка нового способу очищення рицинової олії

В різних галузях промисловості зараз відомо багато способів очищення технічних і харчових рідин. Відомо багато прикладів очищення рідин через пористу перегородку (фільтрація) [214]; очищення рідини за допомогою силових полів [213]; біологічні, хімічні та інші методи.

Для очищення рослинних олій переважно використовують фільтрацію за допомогою пористої перегородки, але за останній час ідуть пошуки нових способів очищення та їх комбінації. Серед таких комбінованих способів може бути той, що нами запропонований (патент України № 127279) [210], суть якого розкрита на рисунку 2.20. На рисунку 2.20.а наведено експозицію пресової рицинової олії; на рис. 2.20.б – експозиція процесу гідратації при додаванні води 1,5-2%. На рис. 2.20.в – експозиція початку електрофорезу при подачі на електроди перемінної напруги до 5 кВ. рис. 2.20., г,д – експозиція початку і кінця електрофлотації при створенні на поверхні піни із фосфоліпідів, шлаків тощо.

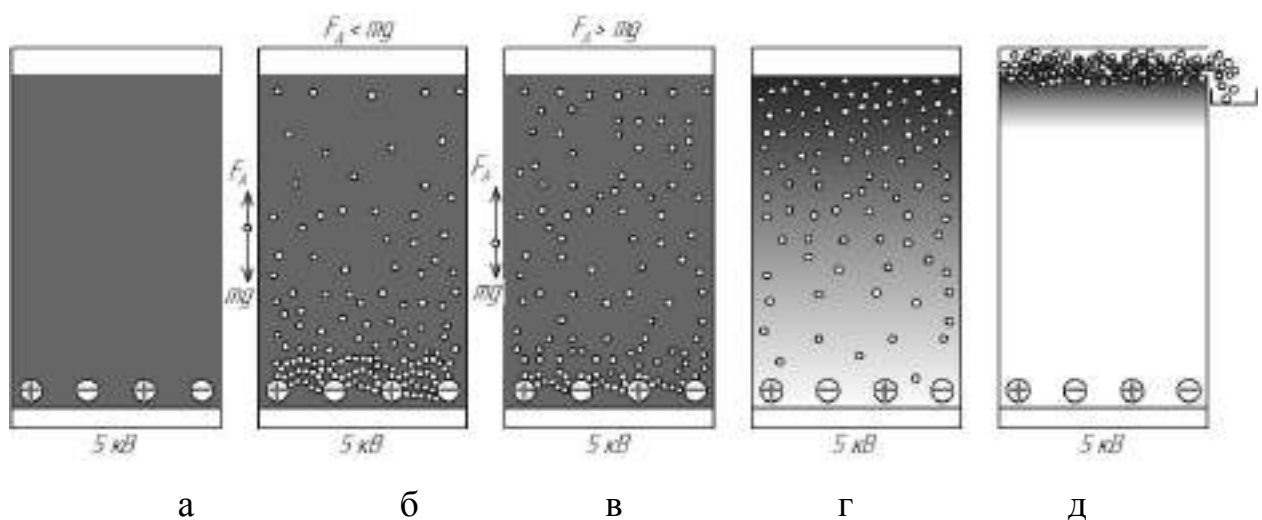


Рис.2.20. Схема процесу очищення рицинової олії способом електрофлотації: а - віджата рицинова олія; б – процес гідратації; в – процес електрофорезу; г – процес електрофлотації; д – завершення процесу електрофлотації

Після віджиму рицинової олії вона вміщує багато різних домішок, в тому числі фосфатиди, білки та інші механічні домішки, які роблять її непрозорою. Колір свіже віджатої пресом олії наведено на рис. 2.21.



Рис. 2.21. Віджата пресом олія рицини

Такий колір не може задовольнити користувача олії: вимоги стандартів потребують щоби колір був прозорим [209].

Для вилучення білків, фосфатидів та механічних домішок, що створюють темний колір проводять їх гідратацію додаванням до олії 1,5-2% води. В результаті взаємодії фосфатидів з водою виникають агрегати гідратованих фосфатидів, які не мають зв'язку з дисперсним середовищем і тому їх можна вилучити з олії використовуючи силову дію електричного поля на поляризовані частинки, та флотацію домішок парогазовими бульбашками.

Після гідратації залишки води, які не прийняли участі у гідратації, у вигляді дрібних крапель розміром до 50 мкм залишаються в суспензії і надають їй мутного білого кольору. Ці краплі також підлягають вилученню.

У зв'язку з тим, що рицинова олія має високу в'язкість, процес очищення доцільно вести при підвищеній температурі. Водно-олійна емульсія створюється в результаті механічного перемішування мішалкою при температурі 50-70°C.

Для проведення процесу очищення олії від гідратованих фосфатів і білків в електричному полі температуру суспензії потрібно довести до 85-95°C.

Електричне поле створюється системою паралельних циліндричних електродів діаметром 1-2 мм. Таке поле має велику неоднорідність і тому виникають значні електричні сили, які діють на поляризовані частинки фосфатидів і краплі залишкової води. Ці сили направлені в бік найбільшого значення величини напруженості поля (по градієнту напруженості) тобто до поверхні електродів.

Величина сили, що діє на поляризовану частинку в неоднорідному електричному полі залежить від діелектричної проникності речовини частинки. В першому наближенні можна прийняти величину діелектричної проникності гідратованих фосфатидів та білків такою, що дорівнює діелектричній проникності води ($72 \cdot 10^{-11}$ Ф/м). Швидкість руху частинок до електродів зумовлена величиною електричної сили та сили опору в'язкого середовища.

При досягненні електроду гідратовані фосфатиди і краплі води попадають в поле з найбільшою напруженістю та градієнтом напруженості. Як показали попередні експериментальні дослідження, на поверхні електроду краплі води накопичуються та починається їх випаровування з утворенням дрібних парогазових бульбашок, розмір яких зумовлений величиною діаметра електроду. Такі дрібні бульбашки здатні виносити на поверхню олії гідратовані фосфатиди, які знаходяться в шарі олії над електродною системою, тобто здійснювати процес флотаційного очищення олії.

Час очищення від гідратованих фосфатидів, білків, механічних домішок і залишків води залежить від об'єму рідини в камері, конструкційних параметрів електродної системи та величини напруги на електродах. Величину напруги доцільно підтримувати на максимальному рівні, але меншому ніж напруга пробою рідини між електродами. Тому ефективність очищення олії буде залежати від створеної гідродинаміки частинок домішок, яку можливо дослідити шляхом математичного моделювання.

2.2.2. Гідродинаміка частинки домішок в рициновій олії під дією електричного поля в міжелектродному просторі

На підставі другого закону Ньютона складаємо рівняння руху кулі в рідині:

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} + \frac{9\eta}{2a^2} \left(\frac{d\vec{r}}{dt} \right) - \frac{3}{4\pi a^3 \rho} \vec{F}_e(\vec{r}) = 0, \quad (2.62)$$

де \vec{r} – радіус-вектор, м;

Розглянемо рух краплі вздовж лінії, що з'єднує осі електродів. В такому випадку потенціал електричного поля між двома паралельними циліндрами описується рівнянням [220]:

$$U(x) = U_{12} \frac{\ln\left(\frac{x-D}{x}\right)}{2 \cdot \ln\left(\frac{D}{R}\right)} \quad (2.63)$$

де U_{12} - різниця потенціалів між електродами, В;

D – відстань між осями електродів, м;

R – радіус електродів, м. ($R = \frac{d}{2}$)

Напруженість електричного поля визначається формулою:

$$E(x) = -\frac{dU}{dx} = -U_{12} \frac{D}{2 \cdot (x-D) \cdot x \cdot \ln\left(\frac{D}{R}\right)}, \quad (2.64)$$

Гradient напруженості поля:

$$\frac{dE}{dx} = U_{12} \frac{D(2x-D)}{2 \cdot (x-D)^2 \cdot x^2 \cdot \ln\left(\frac{D}{R}\right)} \quad (2.65)$$

В створеному неоднорідному електричному полі на краплі води та гідратовані фосфати діє сила, що забезпечує їх рух до поверхні електродів [219]:

$$\vec{F}_e = -4\pi \cdot \varepsilon_c \cdot a^3 \frac{\varepsilon_q - \varepsilon_c}{\varepsilon_q + 2\varepsilon_c} \left(E_x \frac{d\vec{E}}{dx} + E_y \frac{d\vec{E}}{dy} + \frac{d\vec{E}}{dz} \right), \quad (2.66)$$

де ε_c - ДП середовища, Ф/м; ($3 \cdot 10^{-11}$ Ф/м);

ε_q - ДП речовини кулі, Ф/м; ($60 \cdot 10^{-11}$ Ф/м)

\vec{E} - діюче значення вектору напруженості електричного поля, В/м.

Відповідно до формули (2.66) маємо:

$$\vec{F}_e = 4\pi \cdot \varepsilon_c \cdot a^3 \frac{\varepsilon_q - \varepsilon_c}{\varepsilon_q + 2\varepsilon_c} \left(E_x \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} \right), \quad (2.67)$$

$$\vec{F}_e = -4\pi \cdot \varepsilon_c \cdot a^3 \frac{\varepsilon_q - \varepsilon_c}{\varepsilon_q + 2\varepsilon_c} U_{12}^2 \frac{D^2(2x-D)}{4 \cdot (x-D)^3 \cdot x \cdot \left(\ln\left(\frac{D}{R}\right) \right)^2}, \quad (2.68)$$

З формул (2.67) та (2.68) отримуємо диференціальне рівняння другого порядку руху частинки у в'язкій рідині:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{9\eta}{2a^2\rho} \left(\frac{dx}{dt} \right) - \frac{3}{\rho} \cdot \varepsilon_c \frac{\varepsilon_q - \varepsilon_c}{\varepsilon_q + 2\varepsilon_c} \left(\frac{D \cdot (U_1 - U_2)}{2 \cdot \ln\left(\frac{D}{R}\right)} \right)^2 \cdot \frac{2x-D}{(x-D)^3 \cdot x^3} = 0, \quad (2.69)$$

Це рівняння не розв'язується аналітично, тому використано числове розв'язання методом Рунге-Кутти в середовищі програми MATCAD.

Отримано залежності координати руху та швидкості частинки від часу, та її швидкості від часу при різних початкових умовах (рис. 2.22, рис. 2.23). Ці залежності отримані для електродів радіусом $R=1$ мм, при відстані між осями $D=10$ мм, напрузі на електродах $U_{12}=5$ кВ, для частинки радіусом $a=50$ мкм з

$\varepsilon_{\text{ч}}=6 \cdot 10^{-10} \text{Ф/м}$, при в'язкості рідини $\eta=0,05 \text{ Па}\cdot\text{с}$ (при $t=95^{\circ}\text{C}$) та $\varepsilon_{\text{с}}=3 \cdot 10^{-11} \text{Ф/м}$ і початковими координатами $x_{01}=1 \text{ мм}$, $x_{02}=2 \text{ мм}$, $x_{03}=3 \text{ мм}$, $x_{04}=4 \text{ мм}$.

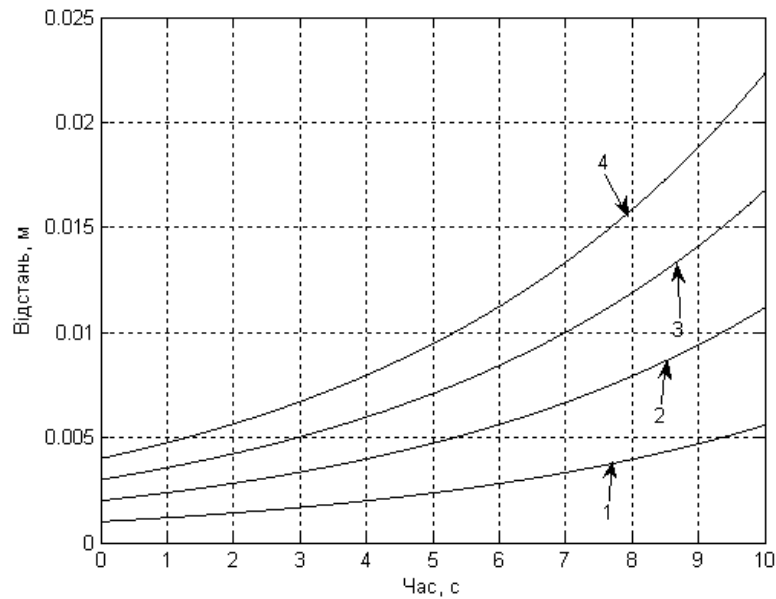


Рис. 2.22. Залежність відстані від часу при початку руху з точок з координатами: 1 - 0,001 м 2 - 0,002 м; 3 - 0,003 м; 4 - 0,004 м.

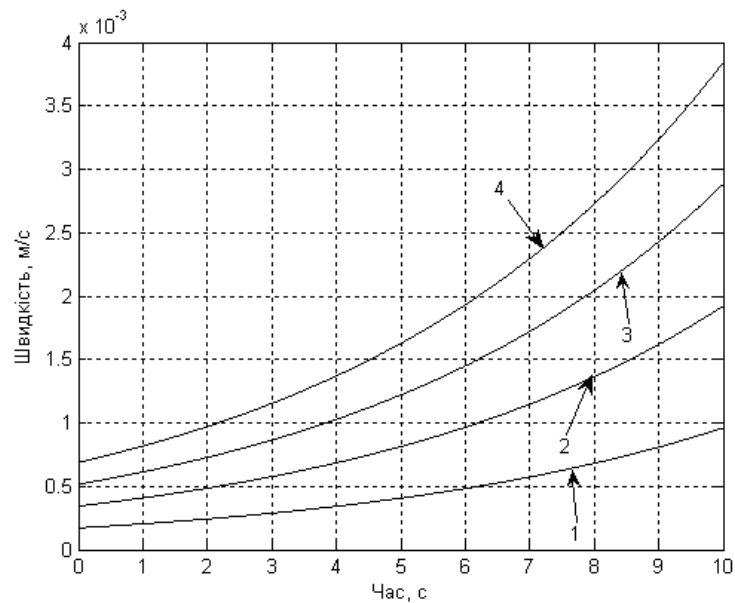


Рис. 2.23. Залежність швидкості від часу при початку руху з точок з координатами: 1 - 0,001 м 1 - 0,002 м; 1 - 0,003 м; 1 - 0,004 м.

З отриманих залежностей можна визначити швидкість частинки в момент стикання з електродом при різних початкових координатах. Аналіз залежностей

рис. 2.22 і рис. 2.23 показав, що ця швидкість не залежить від початкової координати руху і для вказаних умов складає 0,8 мм/с. Аналогічні розрахунки було проведено для напруг на електродах: 4,5 кВ; 4кВ; 3,5кВ; 3кВ. В результаті отримано залежність швидкості осадження частинок на електроди від величини напруги (рис.2.24).



Рис. 2.24. Залежність швидкості частинки в момент стикання з електродом від напруги

При роботі флотаційної камери в безперервному режимі об'єм води в одиницю часу, що подається в камеру дорівнює:

$$Q_v = N \cdot Q_c, \quad (2.70)$$

де Q_v – витрати води, м³/с;

N – вміст води в суміші, в.о.;

Q_c - продуктивність процесу очищення, м³/с.

Об'єм води в одиницю часу, що виділяється на електродах у вигляді пари:

$$Q_g = \pi \cdot N \cdot v \cdot d \cdot l, \quad (2.71)$$

де v – швидкість руху крапель води, м/с;

d – діаметр електроду, м;

l – довжина електроду, м.

З рівняння балансу води в камері:

$$N \cdot Q_c = \pi \cdot N \cdot v \cdot d \cdot l, \quad (2.72)$$

отримуємо вираз для розрахунку загальної довжини електродів:

$$l = \frac{Q_c}{\pi \cdot v \cdot d}, \quad (2.73)$$

При роботі флотаційної камери в періодичному режимі зменшення об'єму води в одиницю часу, повинно дорівнювати об'єму води, що виділяється на електродах:

$$V \cdot \frac{dN}{dt} = \pi \cdot N \cdot v \cdot d \cdot l, \quad (2.74)$$

де V – об'єм камери, м³.

При розв'язанні цього диференціального рівняння отримуємо:

$$N = N_0 e^{-\frac{\pi \cdot v \cdot d \cdot l}{V}}, \quad (2.75)$$

де N_0 – початковий вміст води в суміші, в.о.

Отримане рівняння дозволяє розрахувати теоретичне значення зменшення вмісту води в олії з часом під дією електричного поля при різних умовах та порівняти результат з експериментальним и даними.

Крім цього з рівняння (2.74) можна розрахувати потрібну довжину електродів для забезпечення технологічних вимог до процесу очищення:

$$l = - \frac{\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) \cdot V}{\pi \cdot v \cdot d \cdot t}, \quad (2.75)$$

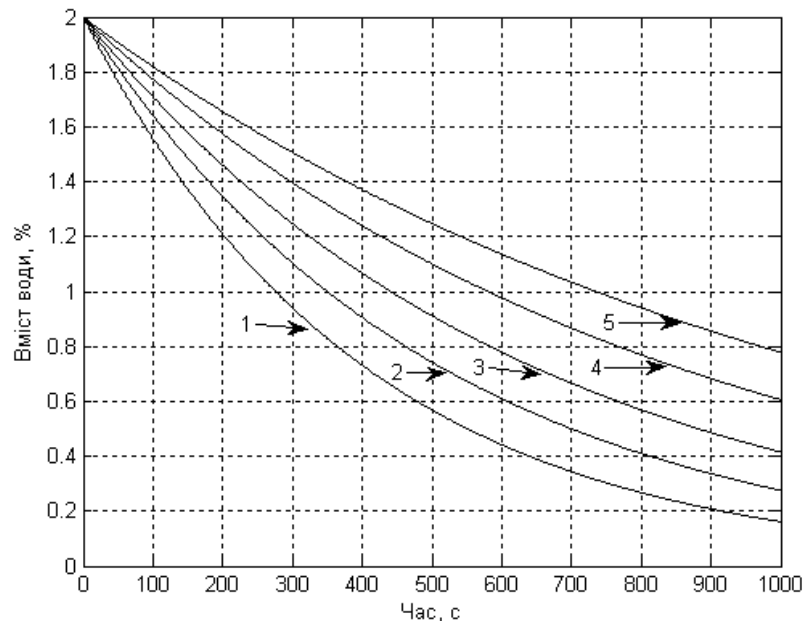


Рис. 2.25. Теоретичні залежності вмісту води від часу при напрузі на електродах: 1- 5 кВ; 2- 4,5 кВ; 3- 4 кВ; 4- 3,5 кВ; 5- 3 кВ.

Для перевірки математичної моделі процесу очищення рицинової олії в електричному полі було побудовано графічні залежності вмісту води в олії від часу за формулою (2.74) при напругах на електродах: 3 кВ; 3,5 кВ; 4 кВ; 4,5 кВ; 5 кВ, що відповідають швидкостям осадження на електроді 0,3 мм/с, 0,38 мм/с, 0,5 мм/с, 0,63 мм/с, 0,8 мм/с відповідно графіку рис. 2.23 та рис. 2.24, порівняно з експериментальними даними. Отримані теоретичні залежності рис. 2.25 побудовані для об'єму рідини 10^{-3} м³, діаметру електродів 10^{-3} м, довжини електродів 1 м та початкового вмісту води 2 %. Для підтвердження отриманих теоретичних залежностей рис. 2.25 було розроблено методику та проведено відповідні експериментальні дослідження з очищення рицинової олії в електричному полі (див. розділ 6).

2.2.3. Гідродинаміка парогазової бульбашки в рициновій олії

Метою дослідження руху парогазової бульбашки в рициновій олії є оцінка часу протікання процесу флотації бульбашками.

Парогазові бульбашки утворюється на електродах та під дією сили Архімеда рухаються до поверхні рідини (рис. 2.20). Для створення математичної моделі руху парогазової бульбашки розглянемо в'язку рідину, яка вміщує парогазові бульбашки. Запишемо рівняння другого закону Ньютона (2.20) у наступному вигляді:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_c + \vec{F}_g, \quad (2.76)$$

Для парогазової бульбашки у вигляді кулі з урахуванням сили опору в'язкої рідини отримуємо рівняння динаміки:

$$\rho_n \frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{9}{2a^2} \eta \vec{v} + g(\rho_c - \rho_n), \quad (2.77)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

ρ_n – щільність водяної пари, кг/м^3 .

Припускаємо, що парогазові бульбашки рухаються лише вертикально, тому можемо перейти від векторного рівняння до скалярного:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{9\eta}{2\rho_n a^2} \frac{dy}{dt} + \frac{g}{\rho_n} (\rho_c - \rho_n), \quad (2.78)$$

де y - вертикальна координата, м .

Рівняння (2.78) являє собою лінійне диференціальне рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами та правою частиною. Розв'язання такого рівняння складається з загального розв'язання відповідного рівняння без правої частини та окремого розв'язання [221]:

$$y = \bar{y} + \bar{\bar{y}}, \quad (2.79)$$

де \bar{y} – загальне розв’язання рівняння;

$\bar{\bar{y}}$ – окреме розв’язання рівняння.

Для отримання загального розв’язання рівняння (2.78) складемо його характеристичне рівняння

$$\gamma^2 + \frac{9\eta}{2a^2\rho_n}, \quad (2.80)$$

Його корні $\gamma_1 = -\frac{9\eta}{2a^2\rho_n}$, $\gamma_2 = 0$, тому загальне розв’язання рівняння без правої частини буде

$$\bar{y} = C_1 e^{\gamma_1 t} + C_2, \quad (2.81)$$

Рівняння (2.78) має окреме розв’язання виду [221,222]:

$$\bar{\bar{y}} = C_3 t, \quad (2.82)$$

і після підстановки його в рівняння (2.78) отримуємо значення коефіцієнту

$$C_3 = \frac{2g(\rho_c - \rho_n)a^2}{9\eta}, \quad (2.83)$$

Загальне розв’язання рівняння (2.78) буде

$$y = C_1 e^{\gamma_1 t} + C_2 + C_3 t \quad (2.84)$$

Для знаходження окремого розв'язання цього рівняння при початкових умовах $t_0 = 0$, $y(t_0) = y_0$, $\frac{dy}{dt}(t_0) = V_0$ знайдемо похідну

$$\frac{dy}{dt} = C_1 \gamma_1 e^{\gamma_1 t} + C_3, \quad (2.85)$$

Підставивши початкові умови у рівняння (2.83), (2.84) отримуємо систему:

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= C_1 + C_2 \\ V_0 &= C_1 \gamma_1 + C_3 \end{aligned} \right\}, \quad (2.86)$$

З неї знаходимо

$$C_1 = \frac{V_0 - C_3}{\gamma_1}, \quad C_2 = y_0 - \frac{V_0 - C_3}{\gamma_1}, \quad (2.87)$$

Шукане окреме розв'язання є

$$y = \frac{V_0 - C_3}{\gamma_1} e^{\gamma_1 t} + y_0 - \frac{V_0 - C_3}{\gamma_1} + C_3 t, \quad (2.88)$$

$$v = (V_0 - C_3) e^{\gamma_1 t} + C_3, \quad (2.89)$$

Для рицинової олії з $\eta = 5 \cdot 10^{-2}$ Па·с, $\rho_{\text{п}} = 0,5$ кг/м³, $\rho_{\text{с}} = 960$ кг/м³ за отриманими формулами побудовано залежності відстані від часу та швидкості від часу для бульбашок різного діаметру, які показані на рис. 2.26, рис. 2.27.

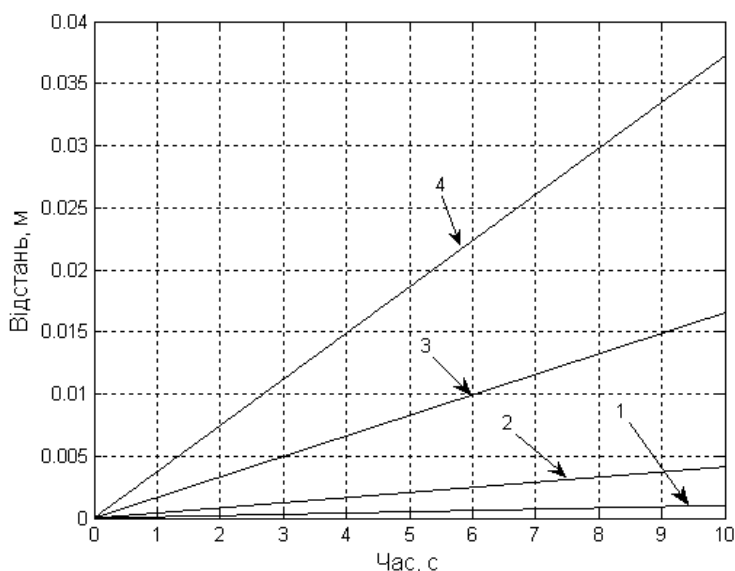


Рис. 2.26. Залежності відстані від часу спливання бульбашок радіусом: 1- 50 мкм; 2 - 100 мкм; 3 - 200 мкм; 3 - 300 мкм.

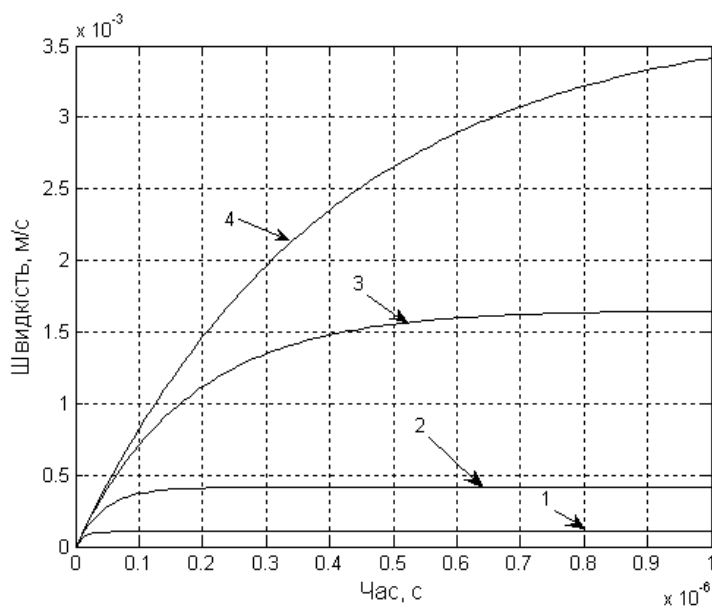


Рис. 2.27. Залежності швидкості від часу спливання бульбашок радіусом: 1- 50 мкм; 2 - 100 мкм; 3 - 200 мкм; 3 - 300 мкм.

Аналіз цих залежностей показує, що стабілізація швидкості руху парогазових бульбашок відбувається за короткий проміжок часу, що складає близько 10^{-6} с, а швидкість в залежності від діаметру лежить в межах від 0,1 мм/с до 3,5 мм/с. Ці значення свідчать, що процес флотації не є лімітуючим за часом процесу очищення рицинової олії.

2.2.4. Гідродинаміка крапель води в рициновій олії

Після перемішування краплі води, рівномірно розподілені в об'ємі олії, починають рухатись під дією сили тяжіння. Для краплі води у вигляді кулі з урахуванням сили опору в'язкої рідини руху частинки отримуємо рівняння динаміки:

$$\rho_w \frac{d\bar{v}}{dt} = -\frac{9}{2b^2} \eta \bar{v} + g(\rho_w - \rho_c) \quad (2.90)$$

де ρ_w - щільність води, кг/м³;

b - радіус краплі води, м.

Краплі води під дією сили тяжіння рухаються лише вертикально, тому можемо перейти від векторного рівняння до скалярного:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{9\eta}{2\rho_w a^2} \frac{dy}{dt} + \frac{g}{\rho_w} (\rho_w - \rho_c) \quad (2.91)$$

Рівняння (2.91) являє собою лінійне диференціальне рівняння другого порядку з постійними коефіцієнтами та правою частиною. Розв'язання такого рівняння складається з загального розв'язання відповідного рівняння без правої частини та окремого розв'язання (2.79) [221]. Для отримання загального розв'язання рівняння (2.91) складемо його характеристичне рівняння

$$\gamma^2 + \frac{9\eta}{2a^2 \rho_w} \gamma = 0, \quad (2.92)$$

Його корні $\gamma_1 = -\frac{9\eta}{2b^2 \rho_w}$, $\gamma_2 = 0$, тому загальне розв'язання рівняння без правої частини буде

$$\bar{y} = C_1 e^{\gamma_1 t} + C_2, \quad (2.93)$$

Рівняння (2.91) має окреме розв'язання виду [221, 222]:

$$\bar{y} = C_3 t, \quad (2.94)$$

і після підстановки його в рівняння (2.91) отримуємо значення коефіцієнту

$$C_3 = \frac{2g(\rho_s - \rho_c)b^2}{9\eta}, \quad (2.95)$$

Загальне та окреме розв'язання рівняння відповідає формулам (2.82)...(2.86).

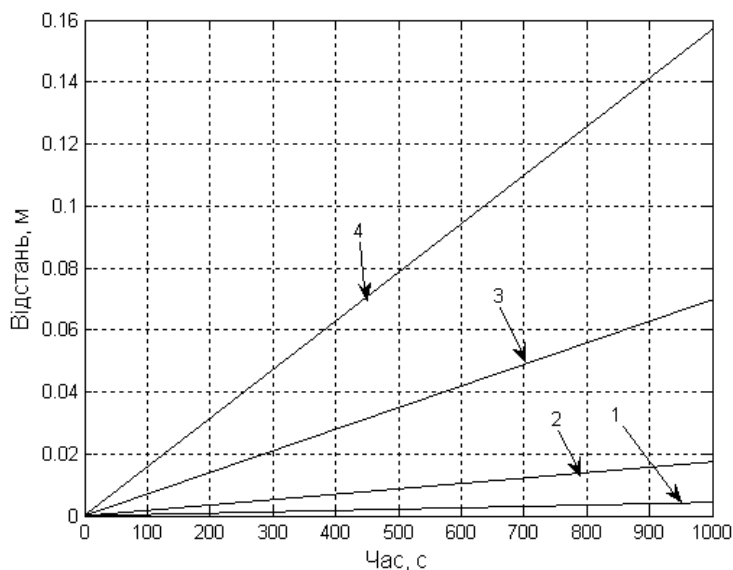


Рис. 2.28. Залежності відстані від часу осадження крапель води радіусом: 1 – 50 мкм; 2 – 100 мкм; 3 – 200 мкм; 3 – 300 мкм.

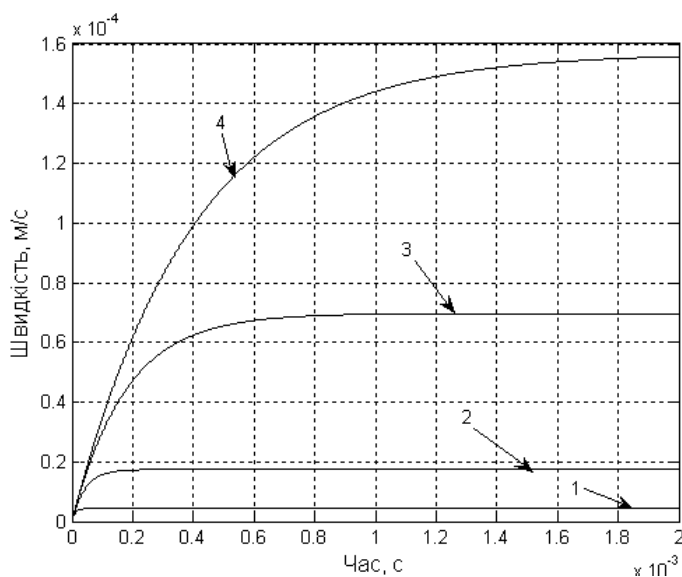


Рис. 2.29. Залежності швидкості від часу осадження крапель води радіусом: 1 – 50 мкм; 2 – 100 мкм; 3 – 200 мкм; 3 – 300 мкм.

Для рицинової олії з $\eta = 5 \cdot 10^{-2}$ Па·с, $\rho_v = 1000$ кг/м³, $\rho_c = 960$ кг/м³ за отриманими формулами побудовано залежності відстані від часу та швидкості від часу для крапель води різного діаметру, які показані на рис. 2.29, рис. 2.30.

Аналіз цих залежностей показує, що час стабілізації швидкості руху крапель води на три порядки більше за час стабілізації швидкості парогазових бульбашок, а швидкість в залежності від діаметру крапель лежить в межах 0,01 мм/с до 0,16 мм/с. Ці значення свідчать, що процес осадження крапель води є лімітуючим за часом процесу очищення рицинової олії.

2.2.5. Кінетика флотаційного очищення рицинової олії

Процес утворення комплексу частинка – бульбашка, що протікає на межі розділу трьох фаз (частинка – парогазові бульбашки – олія), складається із наступних стадій:

- 1) зближення частинки з парогазовою бульбашкою (при спливанні бульбашок)
- 2) контакт частинки з бульбашкою;
- 3) закріплення бульбашки на частинці (прилипання).

Міцність комплексу, що утворився, залежить від розмірів частинок і бульбашок, фізико-хімічних властивостей частинок і рідини (гідрофобність поверхні частинок і їх щільність, поверхневе натягнення та ін.), гідродинамічних умов і ін.

Для руйнування комплексів повинна бути витрачена робота:

$$A = \sigma_{o.g.} (1 - \cos \theta) \quad (2.96)$$

де $\sigma_{o.g.}$ – поверхневе натягнення олії на межі з паром, Н·м;

θ – крайовий кут змочування поверхні частинок.

Для частинок, добре змочуваних олією ($\sigma \rightarrow 0$, $\cos \theta \rightarrow -1$), міцність прилипання мінімальна, а для гідрофобних частинок - максимальна. Якнайкращі

умови прилипання створюються при відносно невеликих швидкостях переміщення частинок і бульбашок та підвищенні температури.

Важливим показником є стійкість пінного шару. Недостатня міцність піни не дає можливості своєчасно видалити пінний продукт з поверхні олії. Надмірна стійкість піни затрудняє її подальшу обробку. Кінетика флотаційного видалення домішок може бути описана відомим рівнянням:

$$1 - C_{оч.} = e^{-kt} \quad . (2.97)$$

де $C_{оч.}$ - ступень видалення домішок в пінний шар (ступень очищення), в.о.;

k - коефіцієнт швидкості флотації, 1/с;

t - час, с.

Ефективність очищення олії флотацією при закріпленні бульбашок на частинках за рахунок їх зіткнень може бути оцінена по рівнянням [215]:

$$C_{оч.} = \frac{1}{H \cdot n \cdot \alpha} (1 - e^{-Hn\alpha}) \quad (2.98)$$

де H – висота шару олії в апараті флотації, м;

n – лінійна щільність бульбашок, 1/м;

α – вірогідність закріплення бульбашки на частинці.

Висновки до розділу 2

1. Отримала подальший розвиток фізична модель процесу волого-теплової підготовки м'ятки рицини перед віджимом олії та установлені графо-аналітичним методом, гідродинамічні режими руху м'ятки в чанах жаровні, а саме: визначено залежність часу руху частинки м'ятки по лопатці та швидкості сходження її з лопатки в залежності від кутової швидкості мішалки; запропоновано методику

визначення швидкості, первинної і вторинної циркуляції в чані жаровні. Це дало можливість розробити нову математичну модель тепломасопереносу і фазових перетворень в дисперсному шарі зволоженої олійної сировини в процесі жаріння у багаточанній жаровні при кондуктивному підведенні енергії та наявності турбінної мішалки, яка на відміну від існуючих математичних моделей дозволяє розрахувати як кінетику, так і динаміку сумісних процесів, переносу теплоти і маси у дисперсному вологому шарі, що представляє інтенсивність фазових перетворень. Модель містить диференційні рівняння дифузійно-фільтраційного переносу енергії в дисперсному шарі колоїдного капілярно-пористого матеріалу, та маси рідкої, порової і повітряної фаз в його порах. Сформульовані відповідні граничні умови.

2. Розроблено числовий метод, який базується на явній тришаровій перерахунковій різницевій схемі М.І. Нікітенко, який на відміну від широкозастосовуваних програмних пакетів дозволяє сумісно вирішити систему нелінійних диференційних рівнянь дифузійно-фільтраційного тепло- і масопереносу, що складають математичну модель. Отримані умови стійкості різницевих рівнянь. Побудовано алгоритм і створено програмний комплекс, що може використовуватись для розрахунку динаміки і кінетики тепломасопереносу і фазових перетворень в процесі жаріння дисперсного шару будь-якої олійної сировини в багаточанних жаровнях безперервної дії циліндричної конфігурації з довільними геометричними параметрами.

3. Проведено математичне моделювання процесу жаріння м'ятки рицини для різних вихідних умов та порівняння результатів числових досліджень з даними балансових розрахунків. Розбіжність не перевищує 7 %, що свідчить про адекватність математичної моделі і точність числового методу.

4. Розроблені математична модель, метод і програма розрахунку динаміки і кінетики жаріння зволоженої м'ятки дозволяють визначати зміну температури та об'ємних концентрацій кожного компонента в будь-якій точці об'єму зволоженого дисперсного шару в довільний момент часу, а також тривалість процесу жаріння в залежності від початкових, фізичних і геометричних параметрів олійної сировини. Ці результати створюють основу при виборі оптимальних технологічних

параметрів волого-теплової обробки даного виду м'ятки з точки зору енергоефективності процесу та якісних і кількісних показників виготовляємої олії, а також при виборі оптимальних конструкційних параметрів при створенні відповідного обладнання.

5. Отримано математичні моделі динаміки руху крапель води і гідратованих фосфатидів та механічних домішок в рициновій олії в електричному полі, яке створено системою паралельних циліндричних електродів. Розв'язання цього рівняння дозволило визначити швидкість осадження крапель на електроди. Доведено, що швидкість осадження за певними припущеннями не залежить від початкової координати руху крапель в між електродному просторі і складає величину в межах від 0,3 мм/с до 0,8 мм/с при зміні напруги від 3 до 5 кВ. Це пояснюється дією електричного поля і відповідної сили тільки на невеликій відстані від електроду.

6. Отримані теоретичні залежності швидкості осадження крапель від напруги на електродах дозволяють розрахувати час видалення вологи і гідратованих фосфатидів та механічних домішок з рицинової олії та конструкційні параметри системи електродів. Для забезпечення продуктивності установки 0,07 л/хв. для зменшення вмісту крапель води з 2 % до 0,2%. Довжина електродів повинна складати 1 м, їх діаметр 2 мм при відстані між електродами 1 см та напрузі на електродах 5 кВ.

7. Отримані математичні моделі динаміки руху парогазових бульбашок та гідратованих фосфатидів і механічних домішок сумісно з краплями води. Дослідження цих трьох моделей дозволило встановити час вилучення домішок в процесі флотації та час осадження крапель води і гідратованих фосфатидів під час їх руху в міжелектродному просторі, що надало розрахунковий час очищення, яким є час осадження крапель води з гідратованими фосфатидами. При мінімально високому шарі олії у флотаційній камері лімітуючим часом стає тривалість руху частинок в між електродному просторі. Це дозволяє розробити алгоритм інженерного розрахунку конструкційних параметрів флотаційної камери.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Програма експериментальних досліджень передбачала встановлення:

- розмірних груп насіння рицини з метою обґрунтування раціональних зазорів між парними валками шельми шини для здійснення операції обрушення;
- впливу вологості елементів насіння рицини на інтенсивність процесів волого-теплової підготовки сировини до віджиму з неї олії;
- впливу пористості м'ятки рицини на ефективність операцій її волого-теплової підготовки та віджиму у гвинтовому пресі.
- впливу режимних параметрів волого-теплової підготовки м'ятки рицини на ступінь вилучення олії при заданій продуктивності багаточанної жаровні;
- впливу режимних параметрів віджиму мезги в гвинтовому пресі на ступінь вилучення олії при заданій продуктивності;
- впливу режимних параметрів електрофлотаційної установки на ступінь очищення олії.

Для дослідження комплексних показників ефективності технологічних процесів переробки рицини розроблено принципово нову методику, за допомогою якої були визначені основні показники ефективності, а також розроблено експериментальну установку для їх визначення.

3.2. Методика експериментальних досліджень

3.2.1. Методика експериментального дослідження потенціалу тепло-масопереносу м'ятки насіння рицини

Визначення потенціалу масопереносу елементів насіння рицини полягало в наступному: брали навіску матеріалу еталона, визначали її масу на аналітичних

вагах із ціною шкали 0,001 гр. Навіска еталонного тіла (листи фільтрувальної бумаги), важила стільки, щоб було достатньо заповнити половину металевого циліндра спеціального контейнера (рис. 3.1).

Спеціальний контейнер, який використовувався в експериментальних дослідженнях, складається з пологого металевого циліндра з нарізаною з двох сторін внутрішньою різьбою для ущільнювачів болтів. Протягом всіх дослідів маса еталонного матеріалу залишалася без змін. Потім зважували з точністю до третього знака після коми навішення м'ятки насіння рицини певного складу (подрібнене ядро, лущиння, рушанка). У процесі досліджень змінювали її вологість від 6% до 14%. Зволоження матеріалу здійснювалося розпиленням води. Таким чином, контролювалася маса навіски до і після зволоження.



Рис. 3.1. Контейнер для визначення потенціалу масопереносу

Після цього дві навіски (еталонне тіло і матеріал, що досліджується), розміщують в металевий циліндр і спресовують з двох сторін гвинтами. Різьбові з'єднання металевого циліндра ущільнювали сантехнічної стрічкою. Контейнери з матеріалами, які досліджуються поміщали в термостат при температурі 25°C і проводили їх відлежування. Після, металеві циліндри відкривали і визначали масу і вологість зразка досліджуваного і еталонного тіла. Вологості зразків визначали шляхом висушування їх до абсолютно сухої маси за методикою, наведеною в [80].

У перших дослідах визначали необхідний час відстоювання зразків в контейнерах. Перевірялися варіанти витримки зразків в контейнері 24, 48, 72 і 96 годин. В результаті було встановлено, що з достатнім ступенем точності можна вважати настання термодинамічної рівноваги матеріалів, яке досліджуються (при термодинамічній рівновазі потенціали переносу вологи однакові) не більше 96 годин. У подальших дослідах відстоювання проводили протягом 96 годин. Всі досліди проводили з триразовою повторністю. Основними термодинамічними параметрами (які необхідно було визначити) є вологовміст тіла і потенціал масопереносу [81].

Потенціал масопереносу визначається по вологовмісту еталонного тіла. В якості еталонного тіла, як правило, вибирається целюлоза в формі листів фільтрувального паперу [81]. Отже,

$$\theta = \frac{u_{\text{э}}}{(c_{m\text{э}})_T}, \quad (3.1)$$

де θ - потенціал масопереносу, °М;

$u_{\text{э}}$ – вологовміст еталонного тіла, кг/кг;

$(c_{m\text{э}})_T$ - питома ізотермічна масоємність еталонного тіла.

Питома ізотермічна масоємність еталонного тіла по [81] приймається рівною 1/100 максимально сорбційному вологовмісту еталонного тіла:

$$(c_{m\text{э}})_T = \frac{1}{100} \cdot u_{cm}, \quad (3.2)$$

де u_{cm} – максимальний сорбційний вологовміст еталонного тіла, кг / кг.

Тобто, питомому вологовмісту еталонного тіла відповідає потенціал в 100 масообмінних градусів. Таким чином, при дослідженнях, потенціал переносу будемо визначати як:

$$\theta = \frac{u_{\text{э}}}{(u_{\text{см}})_T} \cdot 100. \quad (3.3)$$

Для фільтровальної бумаги, при температурі 25 °С, $u_{\text{см}}=0,277$ кг/кг [81].

Для побудови масообмінних характеристик, необхідно знати вологовміст досліджуваного тіла. Для цього, визначають наступні параметри:

- маса води в досліджуваному матеріалі:

$$g_{\text{вол}} = g - g_{\text{с.реч}}, \quad (3.4)$$

де g – загальна маса вологого матеріалу, кг;

$g_{\text{с.реч}}$ – маса сухої речовини, кг;

- вологість матеріалу по відношенню до загальної маси (%):

$$w = \frac{g_{\text{вол}}}{g_{\text{с.реч}}} * 100, \quad (3.5)$$

- маса води, яка необхідна для зволоження матеріалу з вологості w_1 до вологості w_2 :

$$\Delta g_{\text{вл}} = g_1 \frac{w_2 - w_1}{100 - w_1} \quad (3.6)$$

- якщо вологість матеріалу по відношенню до маси сухої речовини має вираз в кг/кг сухої речовини, то одержимо вологовміст досліджуваного матеріалу:

$$u = \frac{g_{\text{вол}}}{g_{\text{с.реч}}} \quad (3.7)$$

Термодинамічний параметр масообміну, який пов'язує вологовміст досліджуваного тіла з потенціалом масопереносу є питомою ізотермічною масоємністю c_m . Для побудови характеристики $c_m = f(u)$, питома ізотермічна масоємність буде визначатись за формулою:

$$c_m = \left(\frac{\partial u}{\partial \theta} \right)_T \quad (3.8)$$

У відповідності з цією формулою та з використанням законів інтегрального числення, питома масоємність буде числово дорівнювати тангенсу кута нахилу дотичної до кривої $u = f(\theta)$.

Відповідно до цієї методики будуть отримані залежності вмісту води досліджуваного матеріалу від потенціалу переносу $u = f(\theta)$ і питомої ізотермічної масоємності від вмісту води досліджуваного матеріалу $c_m = f(u)$.

Виконуючи досліди при різному початковому вологовмісті ядра, лущиння, рушанки рицини і при 10% -му вмісті лущиння в ядрі рицини, отримані залежності між вологовмістом досліджуваного матеріалу і потенціалом масопереносу $u = f(\theta)$ при постійній температурі $T = const$.

3.2.2. Методика експериментального дослідження енергії зв'язку води із елементами насіння рицини

Визначення енергії зв'язку води із елементами насіння рицини полягає в наступному: на дні ексікаторів розміщували скляну ємність із сірчаною кислотою (біля 100 мл) в наступних концентраціях.

В першому ексікаторі – 25%, у другому – 45%, в третьому – 65%, і в четвертому – 85%. Сірчана кислота заданої концентрації буде створювати задану постійну вологість навколишнього повітря. Зверху над ємністю із сірчаною кислотою встановлювались на фарфоровий піддон бюкси з досліджуваним матеріалом. Перед встановленням визначали масу пустої бюкси з точністю до 0,001 гр. В перші чотири бюкси розміщували ядро насіння рицини, в другі чотири бюкси розміщували лущиння насіння рицини.

Потім брали по три стаканчика (один - з ядром, другий - з лушпинням, третій - з рушанкою) розміщували в кожен з чотирьох ексикаторів і закривали кришкою. Ексикатори розміщували в термошафу. Протягом всіх дослідів температура в термошафі підтримується постійною (в досліді прийнята 20 градусів)

Час від часу бюкси з досліджуваними матеріалами зважували, поки не була отримана постійна вага, що свідчила про настання рівноваги між водяною парою і вологим матеріалом. Вологість повітря в ексикаторі визначали по [82] в залежності від питомої ваги (концентрації) сірчаної кислоти.

Вологовміст досліджуваного матеріалу визначали по (3.7)

Масу води в досліджуваному матеріалі визначали по (3.4)

Вологість матеріалу по відношенню до загальної маси (%) визначали по (3.5). Методика визначення маси сухої речовини досліджуваного матеріалу виконувалася згідно ГОСТ 10856.

Таким чином, для проведення експериментальних досліджень, необхідно мати наступне обладнання і матеріали:

- чотири ексикатора;
- термошафа для підтримки постійної температури;
- ваги з точністю до третього знаку після коми;
- сірчана кислота певної концентрації;
- досліджуваний матеріал (ядро і лушпиння рицини).

Відповідно до цієї методики будуть отримані залежності між вологоутриманням досліджуваного матеріалу і вологістю повітря $u=f(\varphi)$ (ізотерми сорбції та десорбції).

Енергія зв'язку води з матеріалом визначалася за формулою:

$$E = -RT \ln \varphi \quad (3.9)$$

де R - універсальна газова постійна, R = 848 кг·м/моль·град;

T - абсолютна температура, °K;

φ - відносна вологість повітря в частках від одиниці.

3.2.3. Методика визначення комплексних показників ефективності технологічних процесів переробки рицини

Методика визначення комплексних показників ефективності технологічних процесів переробки насіння рицини полягала в наступному.

У теорії сушіння вологість зазвичай розглядається по відношенню до маси сухого матеріалу, яка в процесі сушіння залишається незмінною, що має великі незручності для розрахунків.

Загальна маса вологого матеріалу, кг

$$g_{\text{вол}} = g - g_{\text{с.реч}} \quad (3.10)$$

де g – загальна маса вологого матеріалу, кг;

$g_{\text{с.реч}}$ – маса сухої речовини, кг;

Вологість матеріалу по відношенню до маси сухої речовини, %:

$$W^c = \frac{g_{\text{вол}}}{g_{\text{с.реч}}} \cdot 100 \quad (3.11)$$

Вологість матеріалу по відношенню до загальної маси, %:

$$W = \frac{g_{\text{вол}}}{g} \cdot 100, \quad (3.12)$$

Формули переходу, %

$$W^c = \frac{W}{100 - W} \cdot 100, \quad (3.13)$$

$$W = \frac{W^c}{100 - W} \cdot 100 \quad (3.14)$$

Якщо вологість матеріалу по відношенню до маси сухої речовини представити в кг/кг сухої речовини, то отримаємо вологовміст матеріалу (питомий вміст вологи).

$$u = \frac{g_{\text{вол}}}{g_{\text{с.реч.}}}, \quad (3.15)$$

Кількість води або пари, що потрібно для зволоження м'ятки, кг

$$W = g \frac{W_2 - W_1}{100 - W_1}, \quad (3.16)$$

де: g – кількість м'ятки;

W_1 – початкова вологість м'ятки;

W_2 – кінцева вологість м'ятки.

Основним завданням цієї методики є встановлення показників ефективності технологічних процесів переробки рицини.

Показниками ефективності при переробці рицини мають служити кількість (питома кількість) отриманої олії та її якість.

Якість рицинової олії повинна відповідати вимогам ДСТУ 6757-96 [209]. Таким чином, набір критеріїв для визначення оптимальних рівнів при віджиманні олії можна здійснити за допомогою сукупності наступних показників:

$$\mu_0 \rightarrow \max; \eta_m \rightarrow \min; \lambda_0 \geq \lambda_{0,\text{зад}} \quad (3.17)$$

де μ_0 – відносна кількість олії; η_m – відносна олійність макухи;
 λ_0 – якість олії; $\lambda_{0,зад}$ – задана якість.

Відносна кількість олії визначається за формулою

$$\mu_b = \frac{m_b}{m_n}, \quad (3.18)$$

де m_b – маса віджатої олії з заданої маси м'ятки рицини, кг.

m_n – задана маса частки знежиреної, сухої м'ятки рицини, кг

Відносна олійність макухи визначається за формулою

$$\eta_M = \frac{m_o}{m_M}, \quad (3.19)$$

де m_o – маса олії, що залишилась в макусі, кг;

m_M – маса макухи, кг.

Для проведення експериментальних досліджень за програмою досліджень по п. 3.1, використовували насіння рицини сорт Хортицька 7. Досліджувана сировина, (рушанка) готується з насіння рицини в двох варіантах: з обрушеного насіння (без лущиння) і з необрушеного насіння.

Для обрушення насіння використовувався пристрій, технологічна схема якого представлена на рис. 3.2. а її загальний вигляд на рис. 3.2. б. Відділення лущиння з обрушеного насіння здійснювали на пневмосепараторі.

Подрібнення рицини в рушанку здійснювали на спеціальному однопарному вальцевому верстаті. Розмір між подрібнюючими валками, встановлювали з урахуванням фізико-механічних характеристик насіння (довжини, ширини і товщини).

Визначення цих характеристик проводили з використанням методик, рекомендованих згідно [224].

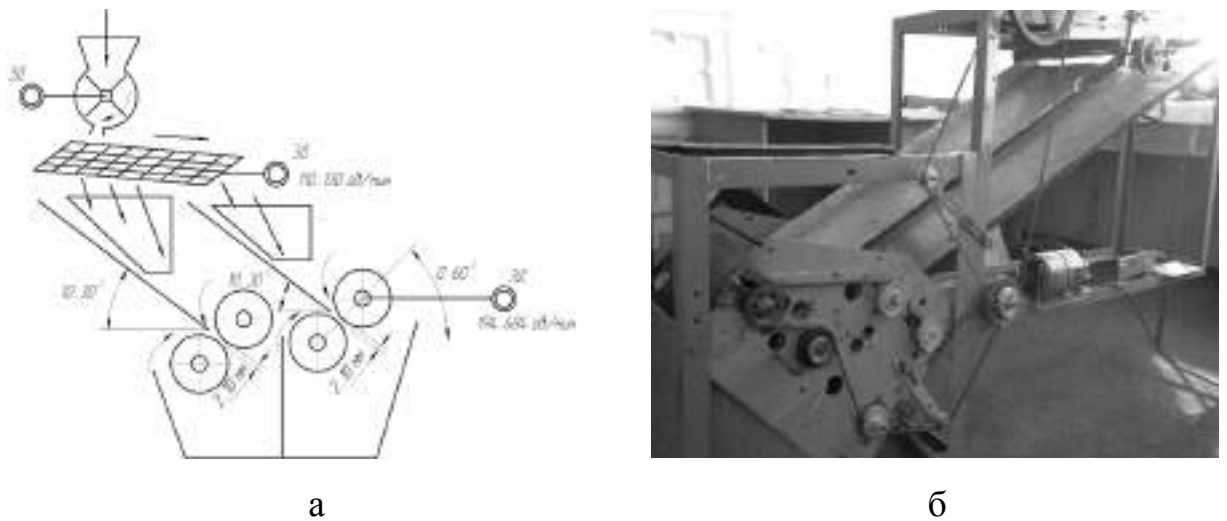


Рис. 3.2. Пристрій для обрушення насіння рицини: а – технологічна схема процесу обрушення насіння рицини; б – загальний вигляд лабораторної установки

Перед проведенням експериментів визначали вихідну вологість рушанки за ГОСТ-10856. Визначення комплексних показників ефективності технологічних процесів переробки рицини виконувалося на експериментальній установці, технологічна і конструкційна схеми якої представлені на рис. 3.3. Загальний вигляд представлений на рис. 3.4.

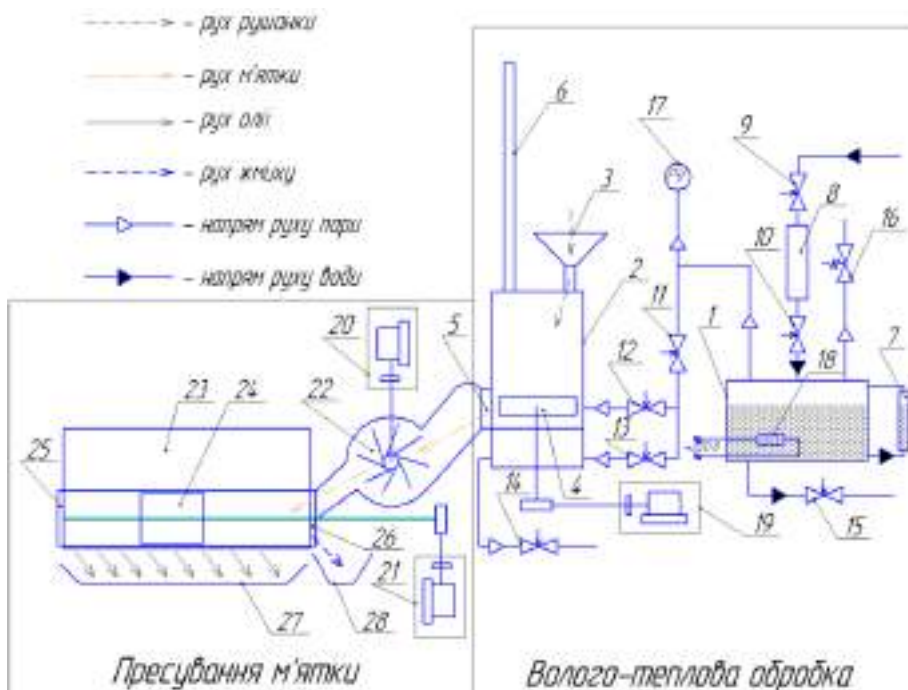


Рис. 3.3. Технологічна і конструкційна схема лабораторної установки для волого-теплової обробки та віджимання рицинової олії: 1 – парогенератор; 2 –

жаровня; 3 – завантажувальний бункер; 4 – мішалка; 5 – вивантажне вікно; 6 – труба для відводу парів; 7 – мірне скло парогенератора; 8 – додаткова ємність для води; 9-15 – прохідний регулюючий вентиль; 16 – зворотний клапан; 17 – манометр; 18 – нагрівальний елемент; 19-21 – електродвигун з редуктором; 22 – бітер; 23 – прес; 24 – поршень преса; 25-26 – вставки каналу; 27 – ємність для збору олії; 28 – ємність для збору макухи; 29 – нагрівальний елемент



Рис. 3.4. Загальний вигляд експериментального комплексу для волого-теплової обробки м'ятки і віджиму олії з олійної сировини

Жаріння (зволоження і сушіння) м'ятки насіння рицини відбувається в жаровні 2. Згідно технологічного процесу, вода в парогенераторі 1 подається через відкритий прохідний регулюючий вентиль 9, додаткову ємність для води 8 і прохідний регулюючий вентиль 10. Контроль рівня води виконується за допомогою мірного скла 7. Після досягнення необхідного рівня, води в парогенераторі 1, вентиль 9 і 10 перекриваються. Нагрівання води відбувається за

допомогою трьох нагрівальних елементів 18, що знаходяться в баку парогенератора. Тиск в парогенераторі 1 контролюється за допомогою манометра 17. Аварійний тиск контролюється за допомогою запобіжного клапана 16.

Рушанка насіння рицини подається в жаровню 2 через завантажувальний бункер 3. Контроль необхідного рівня рушанки забезпечується за допомогою мірної лінійки, яка вставляється в завантажувальний бункер. Перемішування рушанки під час жаріння виконується за допомогою мішалки 4, що обертається за допомогою електродвигуна з редуктором 19. Пара при жарінні відводиться через трубу для відводу пари 6. Зволоження м'ятки виконується гострим паром, який подається в чан жаровні 2 через відкритий вентиль 11 і 12. Вентиль 13 при цьому закритий. Причому, вентиль 12 відкритий повністю, а вентиль 11 - відкритий на стільки, щоб тиск пари, залишався незмінним, який контролюється манометром 17. Сушка м'ятки здійснюється гострою парою, яка подається в нижню частину жаровні через вентилі 11, 13 і 14. для цього перекидається вентиль 12, що подає гостру пару, і відкриваються повністю вентилі 13 і 14. Положення вентиля 11 - не змінюється для заданого значення тиску.

Жаріння м'ятки закінчується вивантаженням матеріалу через вивантажне вікно 5. Вентиль 15 необхідний для зливу води з парогенератора.

Відтиск олії здійснюється в пресі (рис. 3.2 - 3.4). Для цього, м'ятка через вивантажне вікно подається в бітер 22, який обертається за допомогою електродвигуна з редуктором 20. У свою чергу, бітер 22 обертаючись заштовхує м'ятку в канал преса 23 в необхідній кількості. При цьому, поршень 24 відведено в крайнє ліве положення. З метою підтримки постійної температури м'ятки після її жаріння, за допомогою нагрівального елемента 29, канал преса попередньо нагрівається до температури 85 ... 90 ° C

Після наповнення каналу преса 23 закривається вставка каналу 26 включається електродвигун з редуктором 21, який приводить поршень 24 в рух. Поршень 24, рухаючись вправо, здавлює м'ятку. Олія віджимається при стисненні через зерні пластини (знаходяться в нижній частині пресу),

потрапляє в ємність для збору олії 27. Далі слід видалити з каналу преса 23 віджату мезгу. Знімають вставку 26, включають електродвигун з редуктором 21 для переміщення поршня 24. Відпрацьована мезга вичавлюється поршнем і виходить в нижню частину бітера 22, який має проріз для вивантаження.

При підготовці рушанки для жаріння, в жаровні визначальними параметрами є: тиск пари, p_{ep} , висота шару м'ятки H , початкова вологість м'ятки W_n , кінцева вологість м'ятки окремо для періодів зволоження $W_{кз}$ та сушіння $W_{кс}$. Жаровня експериментальної установки має один чан, число оборотів мішалки жаровні 4 не змінюються, та складає 32,5 об./хв. У різних джерелах літератури, кінцева вологість при зволоженні і сушінні м'ятки рицини має суперечливий характер [225, 226]. Тому, з метою проведення подальших досліджень по віджиму олії в пресі - прийняті максимальні значення з обов'язковим дослідженням декількох середніх значень. Тобто, кінцева вологість м'ятки для періоду зволоження контролювалася до рівня $W_{кз} = 15\%$, кінцева вологість м'ятки для періоду сушіння до рівня $W_{кс} = 6\%$.

Тиск пари, при дослідженнях прийнято $p_{ep}=0,4$ МПа. Висота шару рушанки в жаровні може варіюватися від $H=0$ мм до $H=240$ мм. Проведення попередніх експериментів дозволило визначити параметри завантаження рушанки в жаровню. Так, для забезпечення необхідної кількості м'ятки, що подається до пресу для віджиму рицинової олії, достатня висота шару рушанки в жаровні становить 160 мм.

З метою отримання постійної кількості пари, необхідне градування проходного регулюючого вентиля 11 (рис. 3.3) на різний тиск. Для цього парогенератор заповнюють водою, включають всі нагрівальні елементи 18 і створюють тиск пари $p_{ep} = 0,4$ МПа. Відкриваючи повністю вентиля 13 і 14. А вентиль 11 - відкривають на таку відстань, щоб тиск пари, контрольований манометром 17 не змінювався. Коли це положення вентиля зафіксовано, - робиться позначка. Для періоду зволоження м'ятки, необхідно також знати продуктивність парогенератора (кг пари / сек). Для цього, брали ємність з водою, зважували її. Шланг після вентиля 14 встановлювали в цю ємність з водою і створювали тиск. У парогенераторі створювали тиск пари $p_{ep}=0,4$

МПа. Повністю відкривали вентиль 13 і 14, а вентиль 11 - відкривали на необхідну мітку. При цьому контролювали час, який становив 30 сек. Після закінчення 30 с вентилі 11, 13 і 14 закривали, а ємність з водою знову зважували.

Продуктивність парогенератора визначали як:

$$Q_{ng} = \frac{m_e - m_{en}}{t} \text{ кг/с,} \quad (3.20)$$

де m_e – маса ємності з водою перед проведенням досліджень, кг.;

m_{en} – маса ємності з водою і парою після проведення досліджень, кг.;

t – час, протягом якого проводилися дослідження, с.

Такі ж експерименти проводили для значень тиску $p_{gp}=0.5$ МПа.

Для забезпечення висоти шару рушанки, яка подається в жаровню, необхідне градування чана жаровні. Для цього, мірною лінійкою через завантажувальний бункер 3 заміряли глибину чана жаровні і фіксували значення. Потім засипали рушанку в чан жаровні. Періодично, включали електродвигун з редуктором 19 і перемішували рушанку мішалкою 4. Рушанку засипали на стільки, щоб виміряне значення на лінійці зменшилася на 160 мм і ставили позначку на лінійці на рівні верхнього обідка завантажувального бункера.

З метою визначення кількості пари для зволоження рушанки насіння рицини до кінцевої вологості (15%), необхідне визначення маси рушанки для відповідної висоти шару. Для цього, зважену рушанку засипали в жаровню. Одночасно контролювали висоту шару рушанки, що засипається. Для висоти шару 160 мм – фіксували її масу.

Кількість пари, яка необхідна для зволоження рушанки до кінцевої вологості визначали за (3.15)

Різницю вологості, отриману при зволоженні і сушінні м'ятки насіння рицини визначали за формулою:

$$\Delta W = W_{кз} - W_{кс} \quad (3.21)$$

Для виконання досліджень на експериментальній установці (рис. 3.1 - 3.4) необхідно мати наступне обладнання і матеріали:

- термошафу;
- ваги з ціною поділу шкали до 0,001 г;
- алюмінієві бюкси для навісок з досліджуваним матеріалом.

Алгоритм проведення експерименту наступний:

Зважити кожну порожню бюксу на вагах ціною поділу шкали 0,001 г

Створити тиск пара в парогенераторі 1 рівним $p_{сп}=3$ кг/см², який контролюється манометром 17. При наявності тиску пари більше необхідного, його стравлюють. Для цього відкривають вентилі 11, 13 і 14 (див. рис. 3.3).

Засипати зважену рушанку в жаровню 2 до висоти шару 160 мм. Визначити за формулами (3.19) і (3.21) кількість пари і час, необхідний для зволоження рушанки до кінцевої вологості W_2 .

Включити електродвигун з редуктором 19, що обертає мішалку 4 жаровні 2. Для періоду зволоження вентиль 12 відкривали повністю і на відповідну мітку - вентиль 11 (вентиль 13 - закритий).

Через час, визначений за формулою (3.18), необхідний для зволоження рушанки до кінцевої вологості W_2 , відкривали заслінку вивантажного вікна 5 і відбирали пробу рушанки в бюксу.

Ефективність процесу виробництва олії визначали з урахуванням критеріїв ефективності.

Для періоду сушіння, відкривали повністю вентиль 13, а вентиль 12 - закривали. Положення вентиля 11 не змінювали. Час сушіння до необхідної вологості визначали дослідним шляхом. Так щоб кінцева вологість після сушіння була на рівні від 4% до 10%.

При проведенні досліджень прийнято мінімальний час сушіння 25 хв. Інтервал часу при проведенні подальших досліджень становив 15 хв. Через даний проміжок часу (наприклад 25 хв) відкривали заслінку вивантажного вікна 5 і відбирали пробу рушанки в бюксу.

Після періоду сушіння з відповідним часом, включався електродвигун з редуктором 20 приводу бітера 22, повністю відкривалося розвантажувальне вікно 5 і м'ятка подавалася до попередньо підігрітому до 80-85°C каналу преса 23. При повному заповненні каналу преса 23 електродвигун з редуктором 20 приводу бітера 22 вимикався.

Канал закривався заслінкою 26 і включався електродвигун з редуктором 21 приводу поршня 24 преса. Навантаження контролювали амперметром, що встановлений в ланцюг електродвигуна 21. Олію, яка потрапила в ємність 27 вивантажували в бюксу. Кожну бюксу зважували. Вологість зразків визначали шляхом висушування їх до абсолютно сухої маси за методикою, наведеною в ГОСТ 10856 [227].

При проведенні досліджень на експериментальній установці здійснювали незалежне варіювання наступних параметрів:

- а) кількість рушанки, яка подається в жаровню - за допомогою мірної відградуваної лінійки через завантажувальний бункер (поз. 2 і 3, рис. 3.3);
- б) подачу пари, яка подається для зволоження рушанки насіння рицини - зміною положення відкриття засувки вентилів (поз.11 і 12, рис. 3.3);
- в) подачу пари, яка подається для сушки рушанки насіння рицини - зміною положення відкриття засувки вентилів (поз.11 і 13, рис. 3.3);
- г) швидкості руху вала гвинтового механізму - зміною зірочок, встановлених на валу (поз. 5 і 13, рис. 3.5);
- д) висота каналу - регулюється за рахунок переміщення кришки каналу і має відповідно змінні по висоті поршні (поз. 2 і 14, рис. 3.5);
- е) зазор і кут нахилу грані зеєрної планки - забезпечується заміною зеєрної планки (поз. 4, рис. 3.5).

Для експериментальних досліджень використовувалися прилади та обладнання з наступними характеристиками.

Для контролю та фіксації ступенів стиснення олійної сировини в пресі 23 (рис. 3.5) використовували амперметр змінного струму з максимальною межею вимірювання струму 0,5 А, клас точності якого складав 0,5 і ціна поділки - 0,2 А.

Для визначення маси сухої речовини матеріалу досліджуваних навісок згідно ГОСТ 10856, використовувалась сушильна електрична шафа типу 2В-151 з діапазоном температур від 40 до 200 °С. Межа відхилення температури шафи у встановленому режимі складає ± 2 °С.

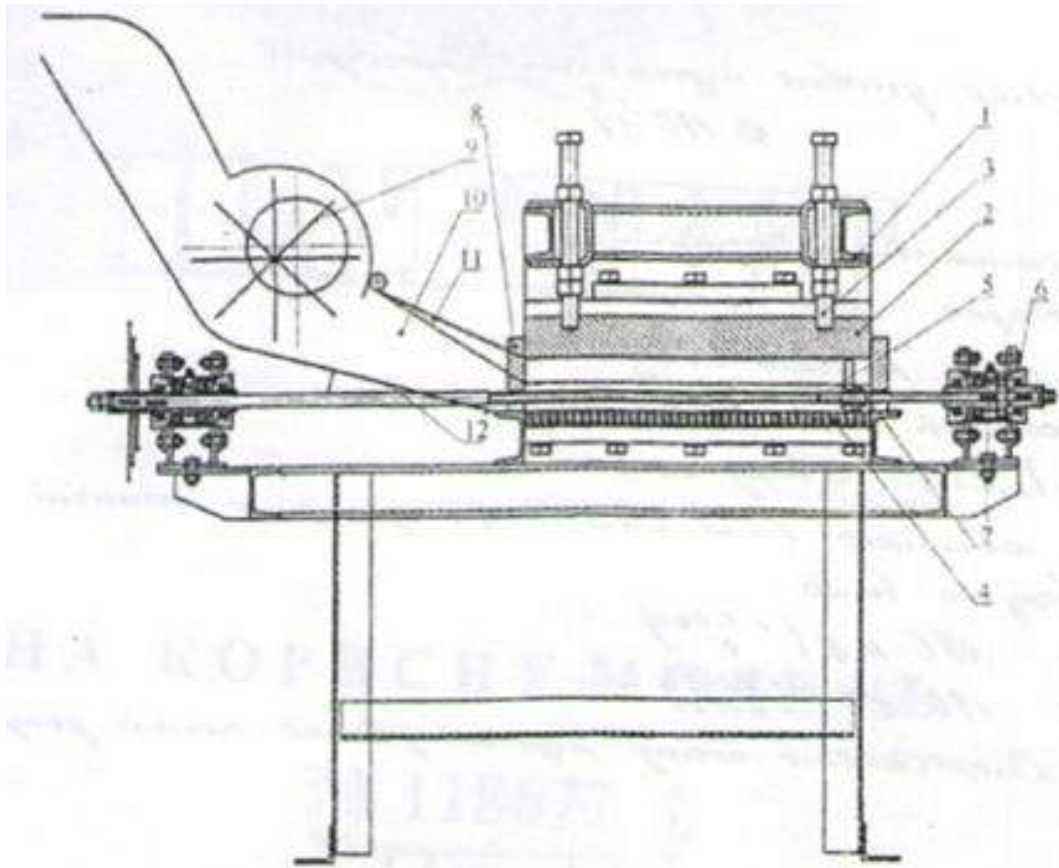


Рис. 3.5. - Схема розгорнутого каналу: 1 - станина; 2 - кришка каналу; 3 - регулювальні болти; 4 - зєрна планка; 5 - вал гвинтового механізму; 6 - опора валу; 7 - трапецеїдальна гайка; 8 - змінна вставка каналу; 9 -

ексцентриковий бітер; 10, 14 - канал; 11 - рухома кришка каналу; 12 - змінна вставка каналу; 13 - змінні зірочки; 14 - змінний поршень.

Для регулювання подачі тиску в жаровні використовувалася система парових кранів типу DN15-50.

Паровий кран (позиція 12 на рис. 3.3) забезпечує подачу пари безпосередньо в жаровню. З його допомогою відбувається зволоження рушанки олійної сировини.

Паровий кран (позиція 13 на рис. 3.3) забезпечує подачу пари до нижньої частини жаровні. З його допомогою відбувається сушіння рушанки олійної сировини.

Паровий кран забезпечує подачу пари безпосередньо до жаровні і її нижньої частини. Час, необхідний для зволоження і сушіння рушанки заміряли секундоміром СІ-2А, з похибкою не більше 0,25 с.

Для подрібнення насіння рицини в рушанку використовувалися ручні валки. При використанні насіння рицини з різними розмірними характеристиками, ручні валки мають можливість регулювання робочого зазору між ними.

3.2.4. Методика дослідження впливу початкової вологості м'ятки рицини на її олієвіддачу

В якості дослідного матеріалу було обрано насіння рицини сорту Хортицька 7 олійністю 55% і вихідною вологістю 7,2%, з насипною масою м'ятки 535 кг/м³. Виходячи з можливості лабораторного комплексу, приймаємо висоту шару м'ятки в чані жаровні 160 мм.

На рис. 3.6 представлено креслення лабораторної жаровні у вигляді одного чана.

При обробці експериментальних даних будемо використовувати вектор рядку, що визначає п'ять наших варіантів з початковою вологістю м'ятки, % (11,8; 9,6; 8,1; 7,1; 6,5). Обчислення будемо виконувати матричним методом з використанням MATLAB.

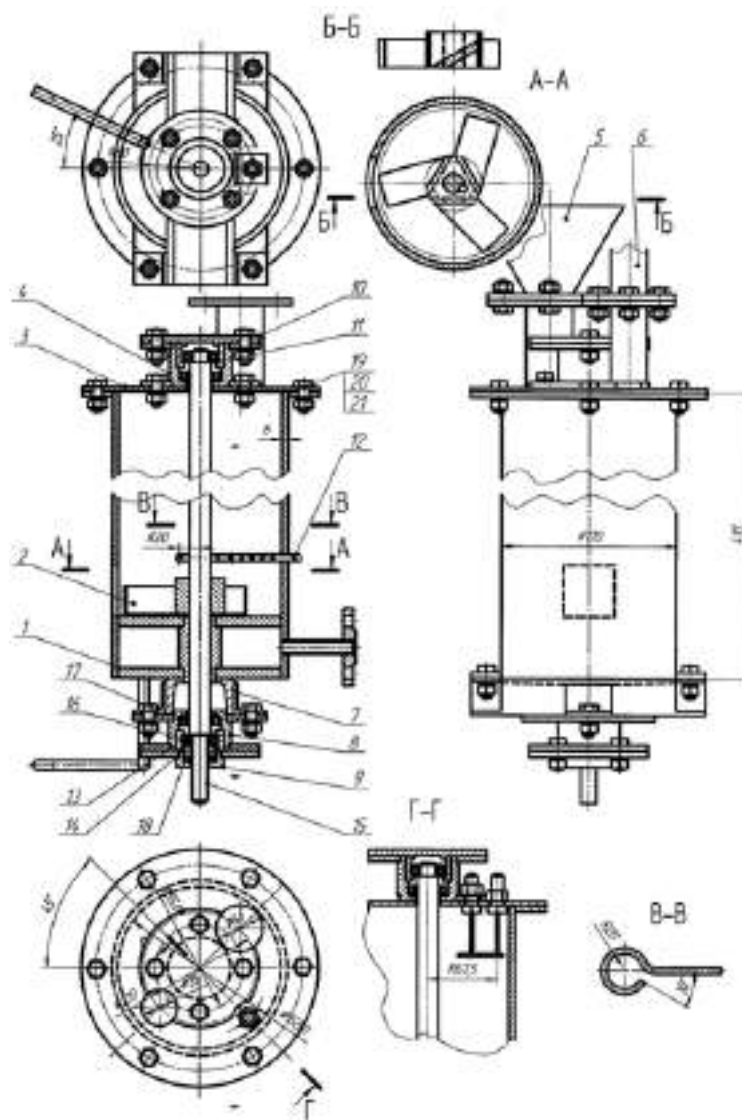


Рис. 3.6. Робоче креслення лабораторної жаровні: 1 - корпус жаровні, 2 - ніж-мішалка, 3 - кришка жаровні, 4 - верхній корпус підшипника, 5 - приймальна воронка, 6 - витяжна труба, 7 - нижня опора, 8 - корпус підшипника, 9 - кришка підшипника, 10 - глуха кришка підшипника, 11 - підшипник, 12 - зволожувальна труба, 13 - ущільнення, 14 - підшипник, 15 - вал чана жаровні, 16 - опорна втулка, 17 - трубка для сходу конденсату, 18 - ущільнення підшипника, 19, 20, 21 – метизи

При вологотепловій обробці м'ятки в лабораторній жаровні використовувалась заоболонкова пара тиском 0,4 МПа, час жаріння в кожному досліді тривав 60 хв, необхідне зволоження проводилося безпосередньо в чані через зволожувальну трубу 12 (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Натурний зразок лабораторної жаровні

3.2.5. Методика визначення рівнянь стану мезги насіння рицини

Метою цих досліджень є експериментальне визначення закону стиснення мезги насіння рицини.

Для моделювання закону ступеня стиснення мезги в гвинтовому пресі попередньо визначається фактичний ступінь стиснення витка шнека за вищенаведеною методикою. Отримані результати приймаємо за вихідні дані для подальших досліджень. При моделюванні ступеня стиснення в i -ому витку преса в зерному циліндрі лабораторної установки необхідно пересувати поршень, забезпечуючи довжину стиснутої мезги:

$$h_k = h_1 \varepsilon_k, \quad (3.22)$$

де h_k – довжина стиснутої мезги для обумовленого ступеня стиснення;
 h_1 – довжина початкового шару мезги в зерній камері лабораторного пресу;
 ε_k – заданий ступінь стиснення для k -го дослід або k -го витка.

Вимірювання довжини стиснутої мезги проводиться лінійкою. Тиск, що створюється поршнем в мезгі в осьовому напрямку, вимірюється за допомогою амперметра змінного струму. Кожен дослід проводиться з триразовою повторністю.

При стисненні тіла в замкнутому просторі силою, нормально спрямованої до поверхні тіла, що стискається, буде створюватися також радіальний тиск [5]:

$$P_r = \xi P_n, \quad (3.23)$$

де P_n – нормальний тиск, МПа;

ξ – коефіцієнт бокового тиску [5]:

$$\xi = \frac{\mu}{1 - \mu}, \quad (3.24)$$

де: μ – коефіцієнт Пуассона; для порошкоподібних матеріалів $\mu = 0,28 \div 0,32$.

Для мезги прийняли середнє значення коефіцієнта Пуассона, що дорівнює 0,3; тоді як коефіцієнт бокового тиску [5]:

$$\xi = \frac{0,3}{1 - 0,3} = 0,428. \quad (3.25)$$

Кутова швидкість обертання гвинтового валу преса, а значить, час

стиснення (експозиції) мезги в кожному шнечку і фільтрація олії через шар мезги моделюється часом витримки поршня лабораторної установки. Для моделювання часу витримки в лабораторних дослідженнях приймаємо діапазон частоти обертання гвинтового валу преса від 12 до 24 об / хв, з кроком 3 об / хв. Час витримки при кожному ступені стиснення визначається з виразу [4]:

$$t = 60 / n \quad (3.26)$$

де 60 - кількість секунд в хвилині, n – кутова швидкість обертання гвинтового валу об/хв; t - час витримки поршня при кожному ступені стиснення в секундах. Діапазон частот обертання шнека і відповідний час витримки наведені в табл. 3.1 [4].

Таблиця 3.1

Діапазон частоти обертання шнека і відповідний час витримки

Кутова швидкість обертання валу, об./хв..	12	15	18	21	24
Час витримки на кожному ступені, с	5	4	3,3	2,8	2,5

Так, в першій серії дослідів при моделюванні частоти обертання 18 об./хв. час витримки повинен дорівнювати 3,3 с.

За результатами досліджень будуються графіки і визначаються залежності напруги від ступеня стиснення і ступінь стиснення від напруги [4]:

$$\begin{aligned} \sigma &= f_1(\varepsilon_v); \\ \varepsilon_v &= \psi_1(\sigma). \end{aligned} \quad (3.27)$$

Експериментальне визначення залежності коефіцієнтів пористості від напруги при різних експозиціях, доцільно описати залежністю, що характеризує зміну коефіцієнта пористості матеріалу від питомого тиску.

Коефіцієнт пористості визначається як відношення об'єму пор до об'єму твердої фази («скелету») матеріалу (мезги)

$$\varepsilon = \frac{V_{\Pi}}{V_T}, \quad (3.28)$$

де V_{Π} , V_T – відповідно об'єм пор і об'єм твердої фази.

Якщо прийняти, що об'єм твердої фази мезги V_T дорівнює об'єму мезги після виходу з останнього витка преса V_n , т. ч. $V_n = V_T$, то об'єм пор $V_{\Pi} = V_1 - V_n$. Причому об'єм пор $V_{\Pi} = V_M + V_B$, де V_B – об'єм вільного повітря, сполученого з атмосферою, можливо частина з нього затиснена, тобто не пов'язана з атмосферою. V_M – об'єм займаний олією, що заповнює пори «скелета».

Таким чином, залежність коефіцієнта пористості від питомого тиску визначається за даними результатів експериментів при дослідженні закону ступеня стиснення від питомого тиску. Коефіцієнт пористості визначається з виразу (3.19).

Для більш точного визначення об'єму твердої фази необхідно провести спеціальний дослід при максимально можливій мірі стиснення в умовах лабораторного обладнання. Отриманий при цьому об'єм віджатої мезги приймаємо за об'єм твердої фази V_T . Тоді об'єм пор визначається із залежності $V_{\Pi} = V_k - V_T$.

За результатами обробки експериментальних даних будуються графіки і визначаються наступні аналітичні залежності:

$$\begin{aligned} \sigma &= f_2(\varepsilon); \\ \varepsilon &= \psi_2(\sigma). \end{aligned} \quad (3.29)$$

Для вибору оптимального закону стиснення тривають дослід з часом витримки кожного ступеня стиснення згідно табл.3.1. При проведенні досліджень заміряється напруга і робиться відбір олії при кожному ступені

стиснення. За відібраними навісками олії відповідно до виразу (3.32) визначаються коефіцієнти віддачі олії k_M для кожного ступеня віджиму.

За результатами вимірів будують графік з різними параметрами t [4]:

$$\sigma = \varphi_1(\varepsilon_v) \quad (3.30)$$

$$k_M = \varphi_2(\varepsilon_v) \quad (3.31)$$

За плавністю кривої фільтрації олії робиться висновок про правильність підбору ступеня стиснення кожного шнечка. За сумарним виходом олії вибирається найкращий варіант часу витримки кожного ступеня стиснення. Коефіцієнт віддачі олії k_M визначається як відношення кількості віджатої олії при повному стисненні пресу до кількості олії, що знаходиться у вхідній макусі [4]:

$$k_M = \frac{G_{\text{пр}}}{G_M}, \quad (3.32)$$

де $G_{\text{пр}}$ – кількість віджатої олії; G_M – кількість олії, що знаходиться у вхідній мезгі.

Кількість віджатої олії визначається зважуванням олії, віджатої на кожній запланованій ступені. Кількість олії, що знаходиться у вхідній мезгі визначається за масою вихідної мезги та її олійності.

3.2.6. Методика визначення коефіцієнтів фільтрації

Коефіцієнти фільтрації визначаються при ступені стиснення, що моделює роботу кожного витка преса, і часу витримки, що моделює частоту обертання гвинтового валу. При кожному ступені стиснення відбираємо віджату олію, визначаємо її вагу і об'єм в см^3 . За об'ємом відфільтрованої олії, часом

витримки при кожному ступені стиснення і площі фільтрації визначаємо швидкість фільтрації олії [4]:

$$u = \frac{V_M}{\omega t} \quad (3.33)$$

де V_M – об'єм навіски олії, см^3 ;

t – час витримки при кожному ступені стиснення (с), визначається за формулою (3.26);

$\omega = \pi D h$ – площа фільтрації олії через мезгу в зерній камері, см^2 ;

D – внутрішній діаметр зеєра, см ;

h – висота зжатої мезги (см) в зерному циліндрі при ступені стиснення, що вимірюється;

u – швидкість фільтрації (см/с) при ступені стиснення, що вимірюється.

За законом Дарсі швидкість фільтрації олії через шар мезги за радіусом зерного циліндра можна виразити за формулою [4]:

$$u = -k \frac{p_1 - p_2}{\gamma r} \quad (3.34)$$

Звідси коефіцієнт фільтрації дорівнює [4]:

$$k = -\frac{u \gamma r}{p_1 - p_2} \quad (3.35)$$

де γ – питома вага порової рідини (олії);

p_1 – гідродинамічний тиск в поровій рідині по вісі зерного циліндра;

p_2 – гідродинамічний тиск в поровій рідині на виході з зерного циліндра. Приймаємо тиск $p_2 = 0$. Враховуючи $p_1 - p_2 = 1$, знаходимо, що $u = -k$. Звідси бачимо, що коефіцієнт фільтрації числово дорівнює величині швидкості фільтрації при градієнті напору, що дорівнює одиниці. Коефіцієнт фільтрації залежить від характеру рідини, що фільтрується:

$$k = k_0 \frac{g}{v}, \quad (3.36)$$

де v – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини;

g – прискорення сили тяжіння;

k_0 – проникність матеріалу (мезги), характеризується тільки її геометричними властивостями, не залежить від характеру рідини, що фільтрується.

Так як гідродинамічний тиск в поровій рідині ми заміряти не можемо, приймаємо $p_1 = \sigma_r$ [4].

Тому замість коефіцієнтів фільтрації ми визначаємо фіктивні коефіцієнти фільтрації. На підставі отриманих даних будуюмо графіки залежності коефіцієнтів фільтрації від ступеня стиснення при різному часі стиснення згідно табл. 3.1.

3.2.7. Методика визначення реологічних властивостей м'ятки насіння рицини

Мезгу насіння олійних культур слід віднести до багатофазової, а точніше двофазових систем. У механіці ґрунтів розроблена і широко застосовується теорія розрахунку консолідації ґрунтів з одночасним урахуванням фільтраційних властивостей ґрунту і властивостей повзучості [2,5,29]. Термін «повзучість», як він зараз розуміється в механіці суцільних середовищ, не охоплює всього процесу деформування багатофазних ґрунтів. У зв'язку з цим більш кращий термін «консолідація», під яким розуміється деформування багатофазного середовища в часі при постійному зовнішньому навантаженні. При цьому процес ущільнення відбувається як за рахунок поступового вичавлювання порової рідини, так і за рахунок одночасного протікання реологічних процесів в «скелет» ґрунту [2,5,30]. «Скелетом» мезги є гелева фаза [2,5,31] - грубодисперсного органічного гелевого порошку, складного за хімічним складом, що володіє гідрофільними властивостями. Рідкою і гідрофільною фазою володіє рослинна олія з розчиненими в ній речовинами.

У механіці ґрунтів однофазними, або квазіоднофазними називають такі ґрунти, при деформації яких співвідношення фаз в одиниці об'єму не змінюється або їм можна знехтувати. Основним критерієм при віднесенні ґрунту до тієї чи іншої розрахункової схеми є доцільність обліку зміни співвідношення фаз в одиниці об'єму ґрунту. Зміна напружено-деформованого стану в часі в двофазних системах ґрунтів пов'язана не тільки з проявом реологічних властивостей «скелета» мезги, але і з фільтрацією порової рідини в сторону дренажу. Таким чином, процеси, що відбуваються при консолідації ґрунтів подібні до процесів, при віджиманні мезги насіння олійних культур в пресах. Теорія консолідації розроблена і широко використовується в механіці ґрунтів [2,5,29, 32, 33].

Серед розглянутих джерел не знайдені дослідження з теорії процесу консолідації мезги насіння олійних культур в гвинтових пресах.

Тому актуальними закономірностями процесу консолідації мезги насіння олійних культур і розробка математичного апарату для його вивчення, на наш погляд є шляхом до розробки методів проектування апаратів технологічної лінії віджимання олії з насіння ріцини та інших олійних культур.

Механізм зміни напружено-деформованого стану мезги в гвинтових пресах віднесемо до багатофазних систем. Основним критерієм при виборі є зміна співвідношення фаз в одиниці об'єму мезги при переміщенні по робочому каналу гвинтового пресу.

У багатофазній мезгі зміна в часі напружено-деформованого стану пов'язана не тільки з проявом реологічних властивостей «скелета» мезги, а й з фільтрацією рослинної олії в сторону дренажу, зжатого повітря та ін.

Термін «повзучість» як він зараз розуміється в механіці суцільних середовищ, не охоплює всього процесу деформування багатофазного середовища в часі при постійному зовнішньому навантаженні. У зв'язку з цим більш кращий термін «консолідація», під яким розуміється деформування багатофазного середовища в часі при постійному зовнішньому навантаженні. При цьому процес ущільнення відбувається як за рахунок поступового

вичавлювання олії, так і за рахунок одночасно протікаючих реологічних процесів в «скелеті» мезги [4].

М'ятка пройшла волого-теплову обробку в жаровні і коли надходить в гвинтовий прес має назву мезги.

Загальна характеристика структури м'ятки і мезги полягає в наступному: в жаровнях, що можуть піддаватися обробці м'ятки двох видів. I - звичайна м'ятка, що отримується в результаті подрібнення ядра насіння з деяким вмістом оболонки, або подрібнене насіння. II - м'ятка, що отримується в результаті подрібнення проміжних продуктів після жаріння і попереднього вилучення олії.

Мезга, отримана як з першого, так і другого виду м'яток представляє собою дисперсну систему, що складається з двох фаз. Гелевої гідрофільної фази - грубодисперсного гелевого порошку, складного за хімічним складом, що володіє гідрофільними властивостями і рідкої гідрофільної фази - олії з розчиненими в ній речовинами, що знаходиться на широко розвиненій внутрішній і зовнішній поверхні частинок.

У разі двофазної мезги геометричні розміри ущільнюваної області будуть істотно впливати на тривалість процесу деформування. При цьому очевидно, що процес деформування протікає в залежності від фізико-механічних властивостей кожної фази мезги окремо і від характеру їх взаємодії.

При математичному описі процесів консолідації двофазної мезги має бути відомо наступне [4]:

- реологічні рівняння стану кожної фази мезги;
- характер взаємодії окремих фаз мезги;
- зміна співвідношення фаз мезги до одиниці об'єму в процесі консолідації.

Деформування в часі двофазної мезги, що включає два процеси, що протікають одночасно.

Один процес формування об'ємної зміни в часі гелевої фази, що відбувається в результаті деформування в'язких зв'язків між частинками мезги.

Другий, що протікає паралельно, - процес переміщення фаз мезги відносно один одного.

Прийнята в даній роботі розрахункова модель двофазної мезги ґрунтується на наступних умовах [2,4,5,29]:

- механічні властивості мезги визначаються не тільки гелевою частиною, але і наявністю олії, її кількістю, ступенем відокремленості;

- маса мезги просувається передніми поверхнями витків в просторі кільцеподібного перетину, який обмежений з одного боку поверхнею маточини витків і проміжних кілець і з іншого боку - внутрішньою поверхнею зерного барабану.

- дослідження [34] показують, що переважна більшість олії (до 98% від витягнутої) віджимається в першій половині преса, що підтверджується і характером зміни олійності макухи по довжині валу: повільна зміна в самому початку і в кінці вала і значна до середини вала.

Методи реології отримали досить широке поширення. Дослідниками, починаючи з робіт Шведова (1890) і Бінгама (1919), були запропоновані різні схеми поведінки матеріалу, в основу яких покладені експериментальні факти.

Найпростішим експериментом, що виявляє реологічні властивості однофазних ґрунтів, є стискання зразка породи циліндричної форми з торців постійним навантаженням з можливістю вільного бічного розширення. Виявляється, що деформація не зупиняється миттєво, а продовжує розвиватися з плином часу. У цьому випадку її називають деформацією повзучості. При цьому деформація зразка буде тим більше, чим довше він перебував під постійним навантаженням.

Для кількісної оцінки явищ необхідний аналітичний зв'язок між змінними деформаціями, напруженнями, швидкостями деформації і часом. Такий зв'язок встановлюється на основі тієї чи іншої гіпотези, в залежності від якої і розрізняються теорії повзучості.

У роботах [29, 30, 32, 33] розглядається теорія ґрунту, в основі «скелету» якого лежать природні мінерально-дисперсні утворення. Тому використовуючи напрацьовану теорію ґрунту, ми повинні враховувати реологію органічних речовин, до яких відносяться харчові маси [35 - 37].

Властивості твердих тіл складні і різноманітні. Тому слід в кожному конкретному випадку вибирати математичну модель, яка відображає найбільш істотні властивості матеріалу в розглянутій задачі.

Реологічні моделі [35 – 39]. Ідеальні тіла.

Всі ідеалізовані тіла є умовними, неіснуючими в природі, але вони є якби відправним пунктом, що розглядається при описанні поведінки реальних матеріалів. Відомі три моделі ідеалізованих матеріалів: ідеально-пружне тіло, або Гукове тіло, ідеально-пластичне тіло Сен-Венана і ідеально в'язка рідина, або ньютонівська рідина.

Пружне тіло є консервативною системою, тобто енергія, витрачена на деформацію, накопичується в тілі і може бути повернута при розвантаженні. В'язка рідина і пластичне тіло є диссипативними системами: механічна енергія, витрачена на подолання внутрішнього тертя і на пластичну деформацію, перетворюється в теплоту.

У пружному тілі напружений стан пов'язаний з миттєвою деформацією, в'язкої рідини і в пластичних тілах - з миттєвим станом течії. У разі в'язкої течії механічна енергія залежить від швидкості деформації, в разі пластичної не залежить.

Ідеально-пружне тіло. Пружне тіло, що підкоряється закону Гука, може бути описано рівнянням

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (3.37)$$

де σ – нормальна напруга;

E – модуль пружності;

ε – лінійна деформація.

При цьому приймається, що деформації виникають безпосередньо після прикладання навантаження і швидкість поширення деформації практично миттєва, внаслідок чого в даному випадку модуль можна назвати модулем миттєвої деформації. Якщо розглядати деформацію призми, яка перебуває під

дією (дотичної) напруги, прикладеної до верхньої межі, то закон Гука має вигляд

$$\tau = G\gamma, \quad (3.38)$$

де τ – дотична напруга;

G – модуль зсуву;

γ – кут здвигу або градієнт зміщення зсуву або градієнт зсуву.

Модуль зсуву G пов'язаний з модулем розтягування E залежністю

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}, \quad (3.39)$$

де μ – коефіцієнт Пуансона.

Якщо реальне тверде тіло в будь-якому діапазоні напруги після зняття напружень миттєво повертається до своєї первісної форми, то воно виявляє властивості ідеально-пружного тіла.

Моделлю ідеально-пружного тіла є спіральна пружина Ідеально-пластичне тіло. До тих пір поки величина прикладеної до тіла напруги лежить нижче деякого критичного значення σ_T (τ_T) (границі текучості), матеріал залишається жорстким: в той момент, коли напруга досягає межі текучості, починається пластична, течія матеріалу при постійній нарузі.

Модель ідеально-пластичного тіла Сен-Венана може бути представлена у вигляді елемента, що лежить на площині з постійним по величині тертям, що не залежить від нормальної сили. Статичний і кінематичний коефіцієнти тертя приймаються рівними. Тіло починає рухатися до тих пір, поки напруга не перевищить граничне напруження зсуву. Після цього елемент може рухатися з будь-якою швидкістю.

Модель в'язкої рідини може бути представлена у вигляді перфорованого поршню, що переміщується в циліндрі з рідиною. Модель характеризується

тим, що в ній напруга пропорційна швидкості деформації, тому рівняння стану для такої рідини буде записуватися у вигляді

$$\tau = \eta \dot{\gamma}, \quad (3.40)$$

де η – коефіцієнт в'язкості;

$\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву.

$$\tau = \tau_T. \quad (3.41)$$

Для моделювання реальних тіл, що мають всі реологічні властивості, але їх не однакою мірою, можна комбінувати в різних поєднаннях моделей ідеальних тіл. Іноді спроба відбити всі властивості реальних тіл в їх сукупності призводить до вельми складних і тому неприйнятних реологічних моделей. У деяких випадках реологічна модель може задовільно відображати властивості реальних тіл тільки в певних інтервалах зміни температури, вологості, тиску та інших параметрів. За межами цих інтервалів поведінка реологічного тіла внаслідок зміни його властивостей може сильно розходитися з складеної моделлю.

Моделі ідеальних тіл можуть з'єднуватися між собою паралельно, або послідовно.

При паралельному з'єднанні повне навантаження на тіло складається з навантажень, що передаються окремими елементами, а швидкість подовження елементів однакова.

При послідовному з'єднанні повна швидкість подовження дорівнює сумі швидкостей складових елементів, а кожен з елементів передає повне навантаження.

Модель максвеллівського тіла являє собою послідовне з'єднання моделей гуковського і ньютонівського тіл (рис.3.8, а).


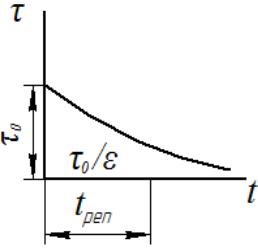
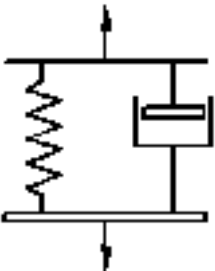
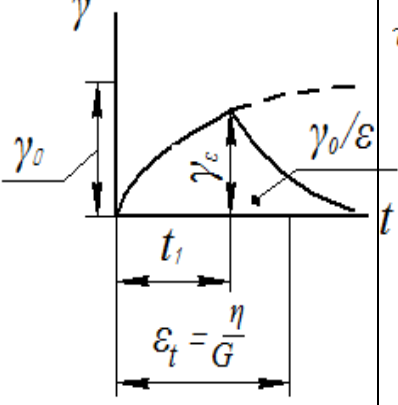
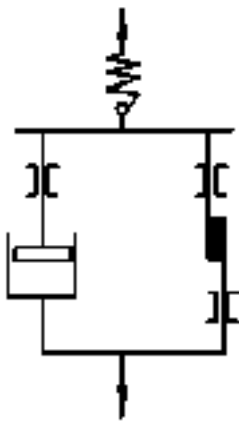
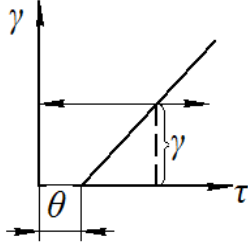
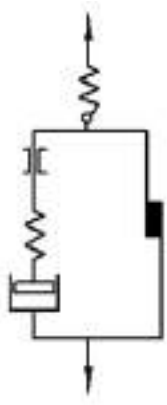
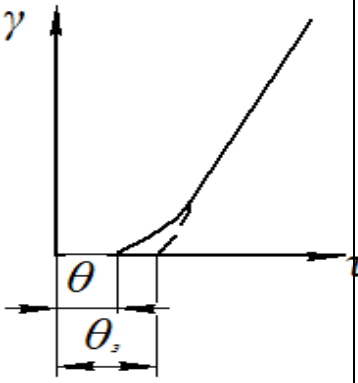
<p>А</p> 	<p>Пружне в'язке релансуюче тіло Максвелла</p>		$\gamma = \frac{\tau}{G} + \frac{\tau}{\eta}$
<p>б</p> 	<p>Тіло Кельвіна або Фойгта, пружний наслідок</p>		$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$
<p>в</p> 	<p>Тіла Бінгама</p>		$\tau = \tau_y - \eta_{пл}\dot{\gamma}$
<p>г</p> 	<p>Тіла Шведова</p>		$\gamma = \frac{\tau - \tau_y}{\eta_{пл}} + \frac{\tau}{G}$

Рис. 3.8. Реологічні тіла [14]

Всі моделі, що показані працюють на простому розтяжінні, але вони можуть описувати не тільки подовження, але і зрушення і всебічне розтягнення-стиснення. Пружнопластичне тіло виходить при послідовному з'єднанні пружного і пластичного елементів при $\tau < \tau_T$ має місце пружний стан, при якому $\tau = G\gamma$; при $\tau = \tau_T$ настає стан пластичної течії.

За умови, що сумарна деформація γ дорівнює сумі деформацій пружного і в'язкого елементів, отримано:

$$\gamma = \gamma_y + \gamma_v, \quad (3.42)$$

де пружна складова за законом Гука

$$\gamma_y = \frac{\tau}{G}, \quad (3.43)$$

а для в'язкого елемента

$$\gamma_v = \frac{\tau}{\eta}, \quad (3.44)$$

диференціюючи по t вирази (3.37) та (3.38), отримано:

$$\dot{\gamma} = \dot{\gamma}_y + \dot{\gamma}_v, \quad (3.45)$$

$$\dot{\gamma}_v = \frac{\dot{\tau}}{G}, \quad (3.46)$$

Підставляючи вирази (3.39) і (3.41) в рівняння (3.40), знайдено:

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\tau}}{G} + \frac{\tau}{\eta}. \quad (3.47)$$

Рівняння (3.42) вперше було запропоновано Максвеллом. Це рівняння є лінійним диференціальним рівнянням відносно τ . Його рішення буде

$$\tau = \left(e^{-\frac{G}{\eta}t} \right) \left[\tau_0 + G \int \dot{\gamma} e^{\frac{G}{\eta}t} dt \right], \quad (3.48)$$

де τ_0 – напруга в початковий момент часу ($t=0$).

Якщо миттєво завантажити розглянуте тіло і вважати, що в момент $t=0$ докладена напруга τ_0 , то безпосередньо після завантаження тіла в'язка деформація дорівнює нулю і деформація тіла дорівнює тільки пружній деформації:

$$\gamma_0 = \frac{\tau_0}{G}, \quad (3.49)$$

Якщо після цього забезпечити незмінність у часі цієї деформації, тобто $\dot{\gamma} = 0$, то і рівняння (3.42) набуде вигляду

$$\frac{\dot{\tau}}{G} + \frac{\tau}{\eta} = 0, \quad (3.50)$$

звідки, інтегруючи, знайдено

$$\tau = \tau_0 e^{-\frac{G}{\eta}t}, \quad (3.51)$$

Величина $\frac{\eta}{G} = T_{\text{рел}}$ була названа Максвеллом періодом релаксації, при $t=0$ $\tau = \tau_0$, а при $t = T_{\text{рел}} = \frac{\eta}{G}$; $\tau = \frac{\tau_0}{e}$, тобто період релаксації - це той час,

протягом якого напруга падає в e раз. при збільшенні t напруга τ зменшується і при $t \rightarrow \infty$ тіло приходить в ненапружених стан.

Тіло Кельвіна або Фойгта. Модель Кельвіна виходить при паралельному з'єднанні пружного і в'язкого елементів. В цьому випадку сума напруг дорівнює сумі напруг τ_y та τ_b пружного і в'язкого елементів:

$$\tau = \tau_y + \tau_b \quad (3.52)$$

Враховуючи, що

$$\tau_y = \gamma G, \quad \tau_b = \eta \dot{\gamma}, \quad (3.53)$$

Отримано:

$$\tau = \gamma G + \eta \dot{\gamma}. \quad (3.54)$$

Рівняння (3.46) являє собою лінійне диференціальне рівняння щодо γ . Інтегруючи його, знайдемо спільне рішення

$$\gamma = e^{-\frac{G}{\eta}t} \left[\gamma_0 + \frac{1}{\eta} \int \tau e^{-\frac{G}{\eta}t} dt \right], \quad (3.55)$$

де γ_0 – деформація в початковий момент часу ($t=0$);

$$\gamma_0 = \frac{\tau_0}{G}. \quad (3.56)$$

Пружно-пластичні властивості твердо-рідких тіл, аналогічних тісту, для більшої наочності іноді характеризують механічними моделями, що

складаються з декількох пружних елементів - пружин і поршнів, що рухаються у в'язкій рідині [35].

На рис. 3.9 приведена схема механічної моделі, що складається з чотирьох елементів: двох елементів тіла Максвелла (E_0, η_0) і двох елементів тіла Кельвіна (E_1, η_1) . Її дія відбувається в умовах постійної напруги. Загальна сумарна пружно-еластично-пластична деформація зрушення такої моделі розвивається послідовно. Залежно від тривалості дії розвиток сумарної деформації цієї моделі може бути наближено вираженими рівнянням, що складається з трьох частин, які характеризують миттєво-пружну, еластичну і пластичну деформації:

$$\varepsilon = \frac{P}{E_0} + \frac{P}{E_1} \left(1 - e^{-\tau/\theta}\right) + \frac{P}{\eta} \tau, \quad (3.57)$$

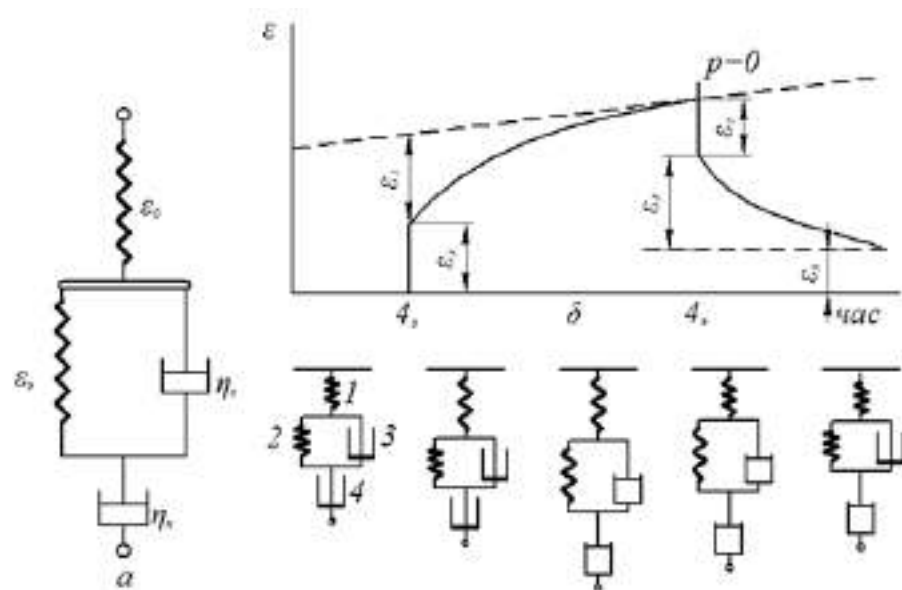


Рис. 3.9. Схема пружно-еластичних і пластичних деформацій зсуву тіста при постійній нарузі за допомогою механічної моделі тіла: а - механічна модель; б - залежність деформації від часу при постійній нарузі; в - схема роботи моделі [17]

Для реальних дисперсних систем вони є недостатньо точними, так як ці системи характеризуються статистичним рядом частинок, що мають «спектр» деформацій зсуву, що розрізняються в умовах однакових напружень.

Реальні величини пружно-еластичних і залишкових, пластичних деформацій, необхідних для обчислень модулів зсуву і в'язкості тіста, отримують за допомогою різних приладів - еластовіскозіметрів. Найбільш цінні відомості про механічні властивості незруйнованої структури мучного тіста отримують шляхом деформацій його зсуву при постійній нарузі, концентрації сухих речовин і температурі в умовах вельми малих градієнтів швидкості деформації. Це дає можливість визначити технологічні властивості зерна і борошна з нього, оцінити процеси деформацій в умовах малих швидкостей збільшити обсяг тіста при бродінні і випічці [40].

Знання фізико-механічних і реологічних властивостей продуктів виробництва і закономірностей їх зміни може вказати нові шляхи управління технологічними процесами, полегшити розробку методів контролю і автоматизації цих процесів, а також відшукати правильне рішення при проектуванні нового обладнання та вимірювальної апаратури.

3.2.8. Методика експериментальної перевірки адекватності математичної моделі процесу консолідації при виділенні олії в гвинтовому пресі

Досліджено математичну модель процесу консолідації мезги в гвинтовому пресі. Обробка отриманих експериментальних даних дозволить отримати рівняння, що описує залежність питомого тиску від ступеня стиснення, а також рівняння зміни коефіцієнта пористості мезги в залежності від питомого тиску. Цими рівняннями замикається вихідна система диференціальних рівнянь, яка дає можливість визначити рівняння консолідації мезги. Користуючись наведеною методикою, отримаємо коефіцієнти фільтрації олії через шар мезги при різному ступені стиснення і тиску.

За результатами розрахунків ступеня стиснення на витках преса ФП в залежності від ширини вихідної щілини преса визначаються радіальні коефіцієнти фільтрації і питомий тиск в мезгі робочої зони кожного витка преса. Значення коефіцієнтів фільтрації і питомого тиску підставляються в рівняння консолідації мезги. Вирішуючи рівняння консолідації мезги методом кінцевих елементів, отримаємо розподіл гідродинамічного тиску олії по довжині гвинтового вала і по радіусу зеєра.

За даними гідродинамічного тиску порової олії і використовуючи метод кінцевих різниць при вирішенні рівняння консолідації, отримаємо числові значення залежностей, що характеризують процес фільтрації рицинової олії через шар мезги в гвинтовому пресі.

Експериментальну залежність процесу консолідації мезги по довжині зеєра в гвинтовому пресі визначається на основі лабораторних досліджень наступним чином. Визначаємо кількість олії з вихідної мезги, закладеної в зеєрі лабораторного преса

$$g_o = M \cdot g_{\text{мез}}, \quad (3.58)$$

де g_o , $g_{\text{мез}}$ відповідно вихідна кількість олії і мезги в зеєрі лабораторного преса; M - олійність мезги в відносних одиницях.

Розглянемо результати досліджень фільтрації на лабораторному пресі при моделюванні закону стиснення преса ФП. У цих дослідах кожна точка залежності процесу фільтрації проведена при ступені стиснення відповідного витка гвинтового вала при обраній ширині вихідної щілини преса. Відносна кількість олії при кожній із заданих ступенів стиснення, тобто при кожному витку шнека визначається за такими залежностями:

$$f_{L1} = \frac{g_{o1}}{g_o}, f_{L2} = \frac{g_{o2}}{g_o} \dots f_{Ln} = \frac{g_{on}}{g_o}, \quad (3.59)$$

де f_{Ln} , g_{On} – кількість відфільтрованої олії відповідно в відносних одиницях і в грамах k -ого витка преса.

Тоді кількість олії виділеної з мезги в кожному витку преса визначиться за формулами:

$$G_{O,1} = f_1 \cdot G_O, G_{O,2} = f_1 \cdot G_O \dots G_{O,n} = f_n \cdot G_O \quad (3.60)$$

де $G_{O,n}$ кількість олії, виділеної з мезги в n -ому витку гвинтового преса;

$$G_M = M \cdot G_{\text{мез}} \quad (3.61)$$

де G_M , $G_{\text{мез}}$ кількість олії в вхідній меззі та кількість вхідної мезги;

Залежність олійності мезги за довжиною гвинтового валу визначається за формулою олійності мезги в k -ому витку

$$M_k = \frac{G_O - \sum_{i=1}^{i=k} G_{O,i}}{G_{\text{мез}} - \sum_{i=1}^{i=k} G_{O,i}}, \quad (3.62)$$

де M_i – олійність мезги в відносних одиницях в k -ому витку преса.

3.2.9. Методика дослідження гідродинаміки руху частинок фосфатидів і механічних домішок у рициновій олії під дією електричного поля

Основною метою дослідження гідродинаміки механічних домішок і фосфатидів у рициновій олії є по-перше: перевірка працездатності запропонованого нами способу очищення віджатої рицинової олії і обладнання для його забезпечення і по-друге перевірити адекватність математичної моделі процесу очищення віджатої рицинової олії.

Для перевірки працездатності нового способу очищення віджатої рицинової олії була спроектована і виготовлена лабораторна електрофлотаційна установка, технологічна схема, якої наведена на рис.3.10, а на рис. 3.11 а наведено електрофлотаційний комплекс, що складається із двох джерел напругою 270 В і джерела високої напруги до 10кВ та електродвигуна привода мішалки.

Поставлена задача вирішується тим, що в електрофлотаційній установці для очищення рослинної олії, що містить ємність процесу флотації, обладнання для видалення піни з домішками. Додатково зверху ємності процесу флотації встановлена ємність для змішування олії з водою (гідротація) за допомогою електродвигуна. Обидві ємності обладнані нагрівальними елементами та датчиками температури, в ємності процесу флотації паралельно встановлено систему електродів циліндричної форми. У встановленій ємності відбувається процес змішування та підігріву олії з водою до стану емульсії з температурою близько 100° С.

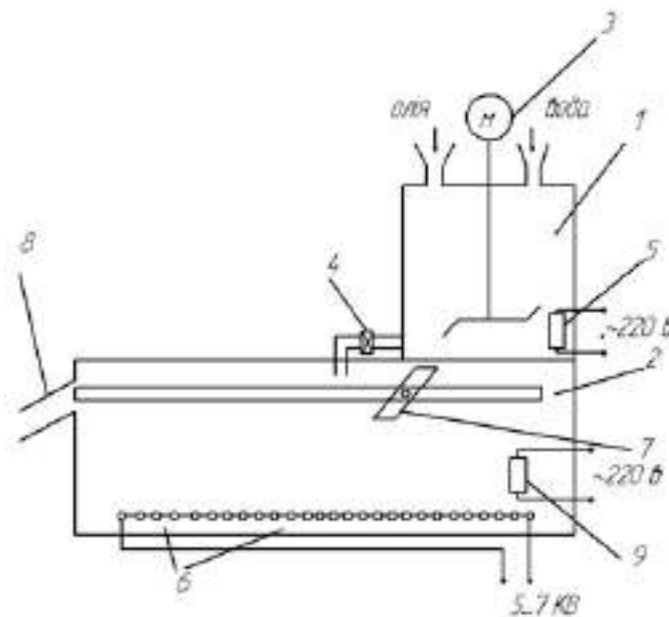


Рис. 3.10 Технологічна схема електрофлотаційної лабораторної установки: 1 – ємність для підігріву та перемішування олії; 2 – ємність процесу флотації; 3 – електродвигун змішувача; 4 – випускний кран (клапан); 5 – нагрівальний елемент; 6 – система електродів; 7 – скребок для збору піни; 8 – отвір для виводу піни; 9 – нагрівальний елемент флотаційної ємності.

На рис. 3.11 б наведено загальний вигляд натурального зразка електрофлотаційної лабораторної установки. Система електродів в ємності процесу флотації створює в міжелектродному просторі електричне поле великої напруженості. На електродах виникають парогазові бульбашки, які разом із домішками підіймаються на поверхню рідини і видаляються. Через кожні 200 с відбирались проби для аналізу вмісту води гідратованих фосфатидів та механічних домішок. Вміст води визначався ваговим методом після випаровування, а вміст гідратованих фосфатидів та механічних домішок – центрифугуванням.



а



б

Рис. 3.11. Електрофлотаційний комплекс (а) та електрофлотаційна установка (б) для очищення рицинової олії

Електрофлотаційна установка складається з електродвигуна змішувача 1; ємності 2 для підігріву та перемішування олії; нагрівальних елементів 3,6; ємності 4 процесу флотації; скребок 5 для збору піни; система електродів 7; випускного крана 8, 11; датчиків температури 9,12. Виконаний отвір 10 для виводу піни.

Установка працює таким чином: свіжовижата неочищена рицинова олія подається до ємності 2 для підігріву та змішування олії, куди додається 1,5...2% води. Ця рідина ретельно переміщується змішувачем 1, та підігрівається до температури близько 100° С за допомогою нагрівальних

елементів 3. Підігріта та перемішана емульсія через випускний кран 11 надходить у флотаційну ємність 4. Для підтримки заданої температури в флотаційній ємності встановлено нагрівальний пристрій 6. Процес електрофлотації відбувається за допомогою встановленої системи електродів 4 у вигляді паралельно встановлених циліндрів. На електроди 7 подається змінна висока напруга від 3...5 кВ зі струмом – 10 мА, що створює в міжелектродному просторі електричне поле великої напруженості. При цьому на електродах виникають парогазові бульбашки, які разом із домішками підіймаються на поверхню рідини. З поверхні рідини домішки видаляються скребком 5 для збору піни через отвір 10 для виводу піни. Вихід очищеної олії здійснюється через випускний кран 8. Контроль температури в ємностях 2, 4 відбувається за допомогою встановлених датчиків температури 9 та 12.

Для перевірки математичної моделі процесу очищення рицинової олії в електричному полі було побудовано графічні залежності вмісту води в рициновій олії від часу при напругах на електродах: 3 кВ; 3,5кВ; 4 кВ; 4,5кВ; 5 кВ, що відповідають швидкостям осадження на електродах 0,3 мм/с; 0,38мм/с; 0,5 мм/с; 0,63 мм/с; 0,8 мм/с відповідно до графіку (рис. 3.12), та порівняно з експериментальними даними.

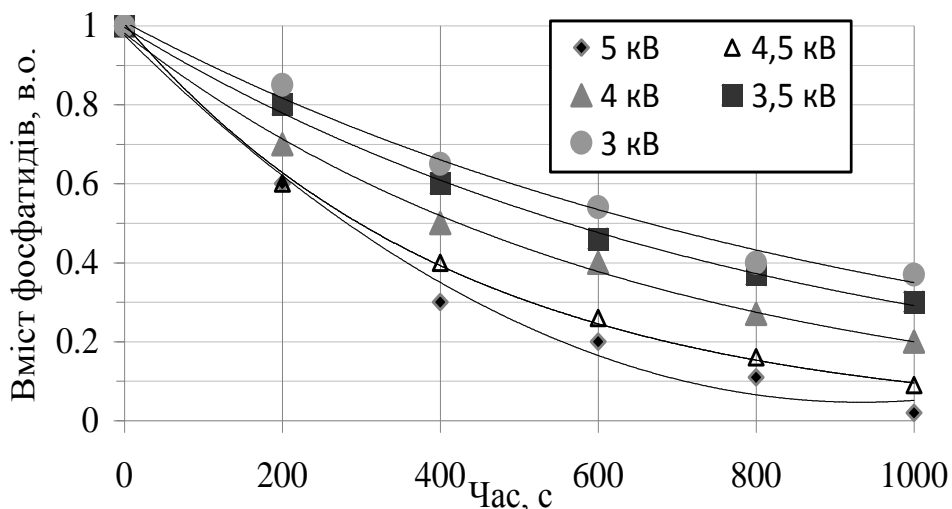


Рисунок 3.12. Експериментальні залежності вмісту фосфатидів та механічних домішок від часу при різних напругах на електродах

Отримані теоретичні залежності побудовані для об'єму рідини 10^{-3} м³, радіусу електродів 10^{-3} м, довжини електродів 1 м та початкового вмісту води 2%. За допомогою нагрівача оліє-водяна емульсія підігрівалась до температури 95...100° С. після підігріву на електроди подавалась висока напруга. Через кожні 20°С відбиралися проби для аналізу вмісту води та гідратованих фосфатидів і механічних домішок. Вміст води визначався ваговим методом після випарювання, а вміст гідратованих фосфатидів та домішок визначався методом центрифугування.

Висновки до розділу 3

1. Для дослідження комплексних показників ефективності технологічних процесів переробки рицини розроблено принципово нову методику за допомогою якої були визначені основні показники ефективності і розроблено експериментальну установку для їх визначення.

2. Розроблено і виготовлено спеціальне лабораторне обладнання, яке дозволило вперше виконати експериментальні дослідження потенціалу тепло-масопереносу елементів насіння рицини, визначити енергію елементів насіння рицини, визначити енергію зв'язку вологи із ядром і лушпинням, а також розробити і виготовити технологічну лінію із розгорнутим каналом (Патент України), яка дозволила дослідити вплив технологічних режимів та конструкційних параметрів обладнання на вихід та якість олії. Крім цього розроблено і виготовлено електрофлотаційний комплекс, що дозволив перевірити працездатність нового способу очищення рослинних олій (Патент України). Лабораторна технологічна лінія і електрофлотаційний комплекс дозволили виконати експериментальні дослідження, що підтвердили адекватність математичних моделей технологічних процесів виробництва рицинової олії.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Результати дослідження фізико-механічних властивостей насіння рицини

Фізико-механічні та геометричні характеристики – це такі, що найбільш повно відображають як сортові властивості насіння, так і їх числові значення для вибору робочих органів обладнання. Інформативним показником при виборі матеріалів є коефіцієнт тертя. Значення коефіцієнту тертя наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Коефіцієнти тертя руху елементів рицини

Елементи рослин	Вологість, %	Поверхні тертя			
		Фанера соснова	Полотно сноповязалки	Листова сталь, прокаг	Листова гума
Насіння	7,0	0,23	0,22	0,38	0,84
Ядро	6,8	0,37	0,34	0,35	0,85
Третинки	8,5	0,34	0,36	0,47	0,96
Стеблі	75,0	0,55	0,61	0,61	0,95
Листя	72,0	0,61	0,64	0,59	0,88
Черенки листові	85	0,77	0,70	0,68	1,05

Аналіз даних таблиці 4.1 дозволяє визначити те, що листова гума викликає найбільший коефіцієнт тертя у всіх елементів рослин тому цей матеріал є не бажаним при виготовленні направляючих поверхонь, по якій рухаються частки рослин, особливо при збиранні.

До основних фізико-механічних властивостей насіння рицини і її

складових частин, важливих при підготовчих процесах переробки, відносять: геометричні характеристики насіння; лузжистість; масу 1000 штук; сипкість маси, міцність оболонки ядра; аеродинамічні властивості насіння, лушпиння і подрібненого ядра.

Розміри олійних культур коливаються в широких межах в залежності від сорту і метеорологічних умов їх вирощування. Геометричні характеристики насіння рицини по довжині, ширині і товщині наведені на (рис. 4.1, рис. 4.2, рис. 4.3).

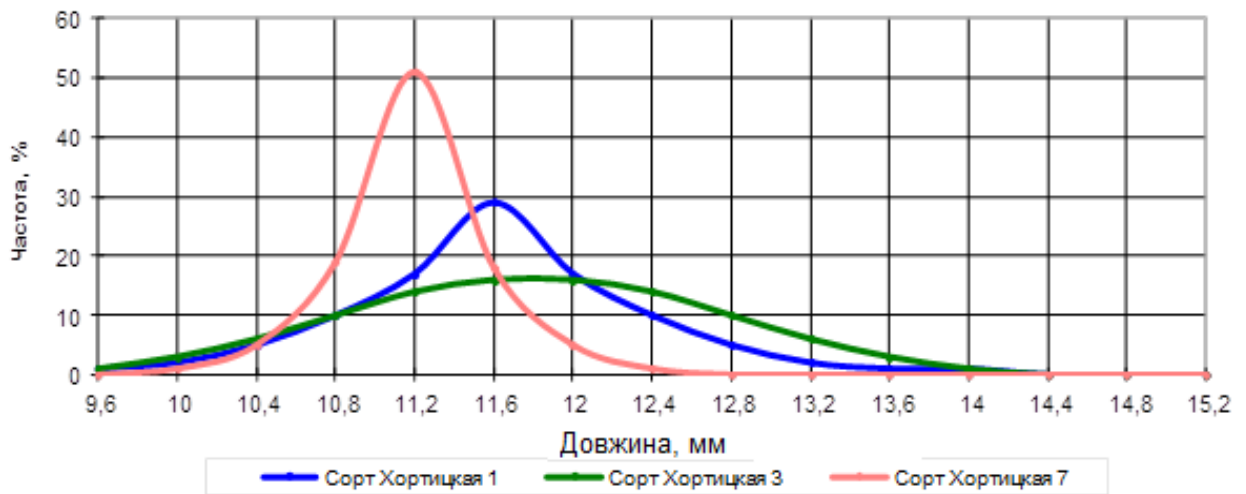


Рис. 4.1. Розподіл розмірів насіння рицини по довжині

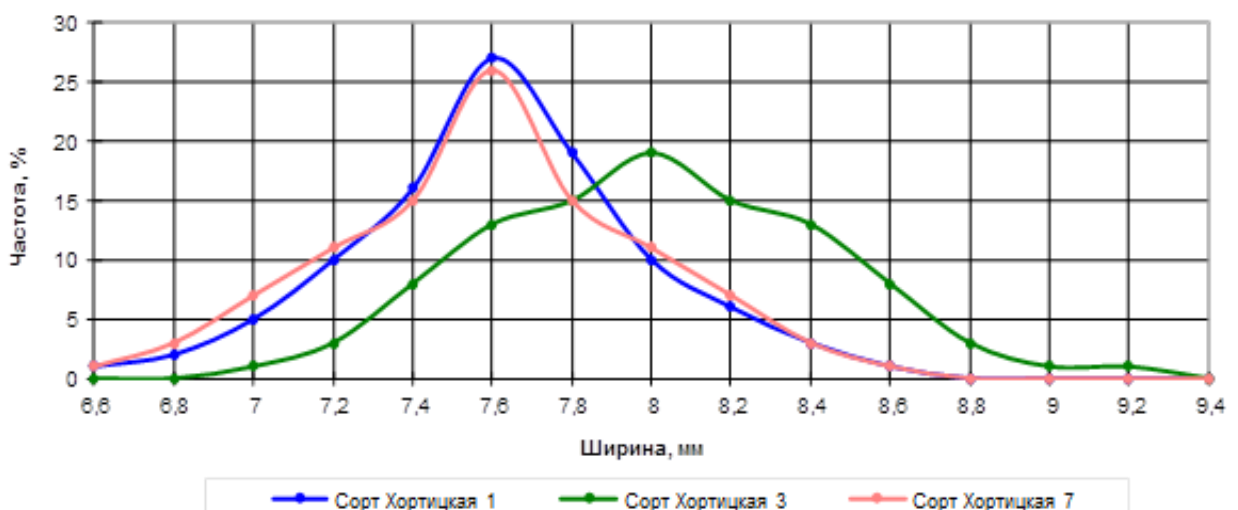


Рис. 4.2. Розподіл розмірів насіння рицини по ширині

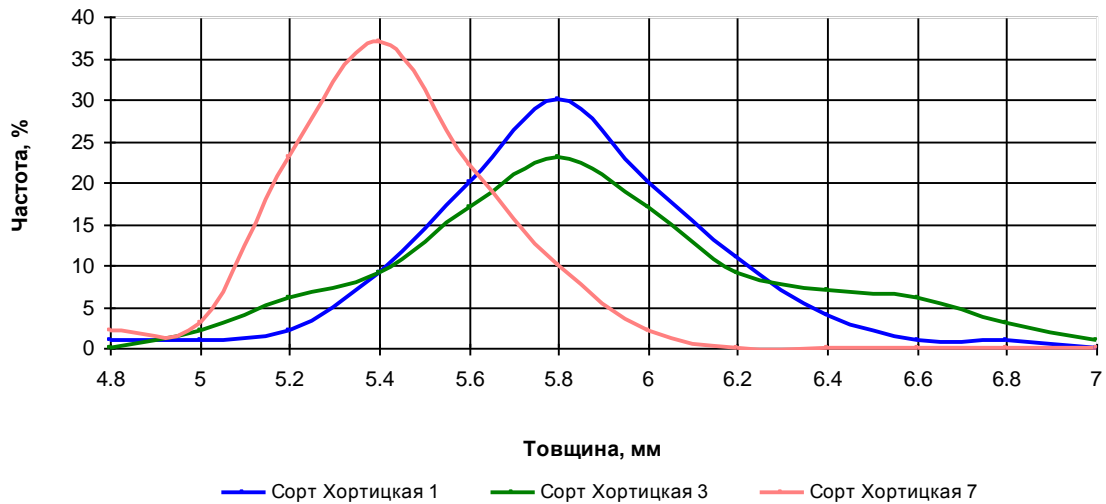


Рисунок 4.3. Розподіл розмірів насіння рицини по товщині

Сортові характеристики насіння рицини сортів Хортицька 1, Хортицька 2 і Хортицька 3 надані в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

Сортові характеристики насіння рицини

Сортові характеристики	Хортицька 1	Хортицька 3	Хортицька 7
<i>За довжиною</i>			
Вибіркова середня	11,104	11,176	10,676
Середнє-квадратичне відхилення	3,591	3,62	3,395
Закон розподілу	$\Phi = 0,11e^{-\frac{(x-135,68)}{25,79}}$	$\Phi = 0,11e^{-\frac{(x-138,02)}{26,208}}$	$\Phi = 0,12e^{-\frac{(x-125,5)}{23,05}}$
<i>За шириною</i>			
Вибіркова середня	7,62	8,01	7,6
Середнє-квадратичне відхилення	0,37	0,43	0,4
Закон розподілу	$\Phi = 1,07e^{-\frac{(x-58,2)}{0,27}}$	$\Phi = 0,93e^{-\frac{(x-64,4)}{0,37}}$	$\Phi = e^{-\frac{(x-57,92)}{0,32}}$
<i>За товщиною</i>			
Вибіркова середня	5,82	5,88	5,4
Середнє-квадратичне відхилення	0,32	0,18	0,054
Закон розподілу	$\Phi = 1,25e^{-\frac{(x-33,97)}{0,2}}$	$\Phi = 2,22e^{-\frac{(x-34,75)}{0,065}}$	$\Phi = 7,39e^{-\frac{(x-29,19)}{0,0058}}$

За розмірними характеристиками можна розрахувати об'єм, площу поверхні і коефіцієнт форми насіння рицини. Таким чином, варіаційні криві представляють собою універсальні характеристики суміші насіння по їх розмірам, що важливо при дослідженні процесів відділення оболонки від ядра. Насіння сорту Хортицька 2 і Хортицька 3 вимагають перед обрушенням калібрувати насіння на дві-три фракції, а Хортицька 1 на три - чотири фракції. Під час очищення та калібрування насіння рицини доцільно застосовувати наступний набір решіт: Б-Ф8, Б20Ф9, Ф10 В-Ф5, Г-Ф4,5 товщина лушпиння і величина зазорів між ядром і лушпинням насіння представлена в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Товщина лушпиння і величина зазору між ядром і лушпинням, мм

Найменування сорту	Товщина лушпиння		Зазори між ядром і лушпинням	
	за товщиною	за шириною	за товщиною	за шириною
Кубанська 15	0,210	0,211	0,365	0,309
Хортицька 1	0,215	0,215	0,255	0,275
Хортицька 2	0,218	0,220	0,227	0,284
Хортицька 3	0,217	0,217	0,268	0,283

Як видно з табл. 4.3, товщина лушпиння у всіх сортів практично однакова і становить 0,210 - 0,218 мм. Зазори між лушпинням і ядром найбільші у Кубанської 15, причому по товщині насіння вони у цього сорту трохи вище. У решти досліджуваних сортів зазори трохи нижче (особливо у Хортицькій 2), причому більший зазор між лушпинням і ядром у цих сортів по ширині. Значить насіння Кубанської 15 при обрушення повинні краще зберігати цілісність свого ядра.

Порівняно товста і щільна насіннева оболонка рицини із суцільною повітряної порожниною виступає як об'єкт сушіння. Насіннева оболонка складається із здерев'янілих клітин і становить 23 - 26% маси насіння, але в ній міститься більше половини всієї вологи насіння.

Основні вагові характеристики насіння рицини наведені в табл.4.4

Таблиця 4.4

Основні вагові характеристики насіння рицини

Найменування сорту	Маса 1000 насінин, г	Питома маса, г/см ³	Об'ємна маса, кг/м ³	Вологість, %
Кубанська 15	284	0,810	514	5,8
Хортицька 1	267	0,770	536	6,4
Хортицька 2	259	0,790	510	5,8
Хортицька 3	274	0,800	476	6,3

Маса 1000 насінин характеризує їх крупність і залежить від сорту і умов вирощування. Її визначають по ДСТУ 12042-66 без урахування вологості.

З табл. 4.4 видно, що найбільша маса 1000 насінин у сорту Кубанська 15 і становить 284 г; найменша у сорту Хортицька 2 становить 259 г. Питома маса залежить від хімічного складу, наявності в насінні повітряних порожнин, ступеню зрілості і інших чинників.

Таблиця 4.5

Лушпинність насіння рицини

Сорт	Хортицька 1	Хортицька 3	Хортицька 7	Олеся	Хортичанка
Лущення, %	23,9	22,1	23,89	23,5	23,0

Сортування за цією ознакою покращує їх посівні якості. У зв'язку з великим сортовим розманіттям питома маса насіння рицини коливається від 0,8077г/см³ до 1,0 г/см³ у сорту Кубанська 15 середня питома маса 0,810 г/см³; Хортицька 1 - 0,770 г/см³; Хортицька 2 - 0,790 г/см³; Хортицька 3 - 0,8 г/см³. Лушпинність насіння олійних культур визначають шляхом обрушення її вручну. Відокремлену від ядра плодів оболонку (лушпиння) зважують з точністю до 0,01 г. Результати визначення лушпинності виражають у

відсотках до маси взятої для аналізу навішування. Середнє з двох значень приймають за лушпинність проби насіння.

Лушпинність, щільність і маса 1000 штук насіння рицини обумовлена сортовими особливостями і вологістю. Маса 1000 штук насіння рицини коливається від 280 до 320 грамів. Натура насіння становить близько 360 г/л.

В процесі виробництва олії зустрічаються різні види тертя: тертя поверхонь, внутрішнє тертя маси сипучих матеріалів, внутрішнє тертя газів і рідин.

Внутрішнє тертя маси частинок визначається кутом внутрішнього тертя маси частинок одна об одну, або кутом природного ухилу. Величина цього кута визначає геометрію конуса, що створюється при вільному насипі насіння: кут природного ухилу є максимальним кутом нахилу насипу конуса. Для насіння рицини кут природного нахилу становить 24° ... 46° , кут тертя по дереву - 20° ... 25° , по сталі - 15° ... 20° .

Травмування насіння рицини при ударі з робочою поверхнею залежить від швидкості удару, модуля пружності робочої поверхні, а також від напрямку удару. При значному руйнуванні насіння рицини підвищуються втрати як самого насіння, так і олійної речовини, що виходить з технологічного процесу разом з лушпинням. Травмування насіння підтверджується експериментальними даними табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Залежність травмування насіння рицини від швидкості удару об сталеву поверхню

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

До основних механічних властивостей оболонок олійних культур відносять міцність, пружність і пластичність. Під міцністю оболонки розуміється величина навантаження (зусилля), при якому відбувається руйнування оболонки.

При руйнуванні оболонок насіння зовнішня сила може діяти в різних напрямках. Можливі варіанти прикладених зусиль наведені на рис. 2.7.

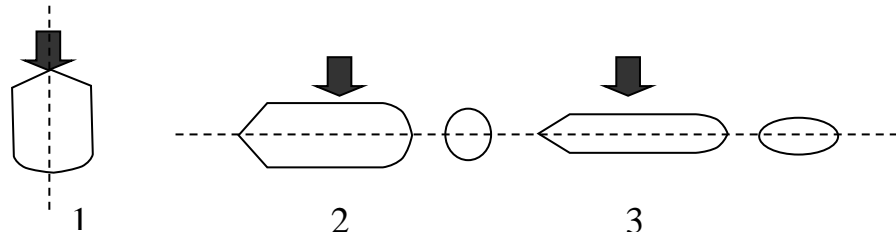


Рис. 4.4. Варіанти прикладання зовнішніх зусиль при руйнуванні насіння рицини: 1 - по довжині, 2 - по ширині, 3 - по товщині.

Наведено середні дані по міцності оболонок насіння рицини при статичному навантаженні в залежності від напрямку дії руйнівного навантаження відображеного в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Зусилля по руйнуванню оболонки ядра

Направлення дій зусиль	Значення, Н		
	Min	Max	Середнє
1	120,62	433,46	305,78
2	109,31	343,00	247,02
3	252,54	621,92	419,05

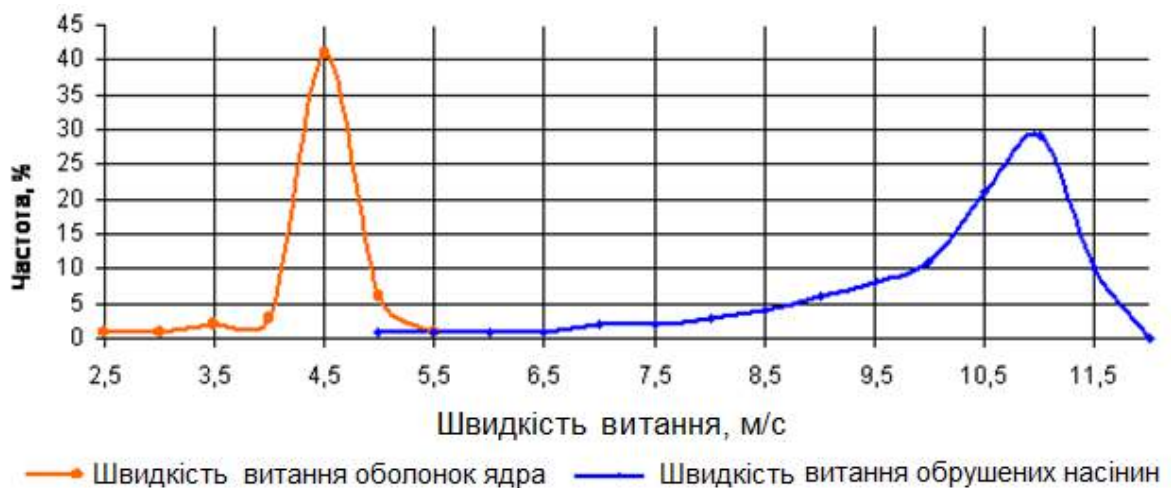


Рис. 4.5. Розподіл швидкості витання елементів насіння рицини

У цих дослідженнях насіння здавлювалась до появи щілини і що супроводжувалося характерним звуком при руйнуванні оболонки і різким зниженням навантаження.

Треба відзначити, що існує залежність міцності оболонок від напрямку прикладеного зусилля.

Вивчення фізико-механічних властивостей насіння рицини обумовлено розходженням характеристик її сортів, а також необхідністю їх визначення з метою подальшого дослідження процесу відділення насінневої оболонки при глибокій переробці рицини. З отриманих кривих видно, що геометричні розміри насіння коливаються в досить широкому діапазоні: по довжині від 9,6 мм до 15,2 мм, по ширині від 6,6 мм до 9,4 мм, по товщині від 4,8 мм до 7 мм; а процентне співвідношення розмірів насіння, визначається сортовими особливостями.

Існує певний діапазон значень зусиль з руйнування оболонки ядра насіння рицини, в різних напрямках дії.

Менше зусилля було витрачено при навантаженні по ширині, а найбільше при направленні дії сили по товщині, що свідчить про необхідність орієнтування насіння в процесі обрушення.

Числові значення критичної швидкості витання обрушеного ядра і лушпиння насіння рицини значно відрізняються один від одного, завдяки чому можливе повне очищення рушанки від лушпиння, за умови незначного руйнування обрушеного ядра.

4.2. Результати експериментальних досліджень тепло-фізичних властивостей насіння рицини і його елементів

До тепло-фізичних властивостей насіння рицини належать тепло-масоперенос м'ятки насіння рицини та енергія зв'язку вологи з елементами насіння рицини.

4.2.1. Результати експериментального дослідження потенціалу тепло-масопереносу м'ятки насіння ріцини

Результати експериментального дослідження потенціалу тепло-масопереносу м'ятки насіння ріцини наведені на рис. 4.6.

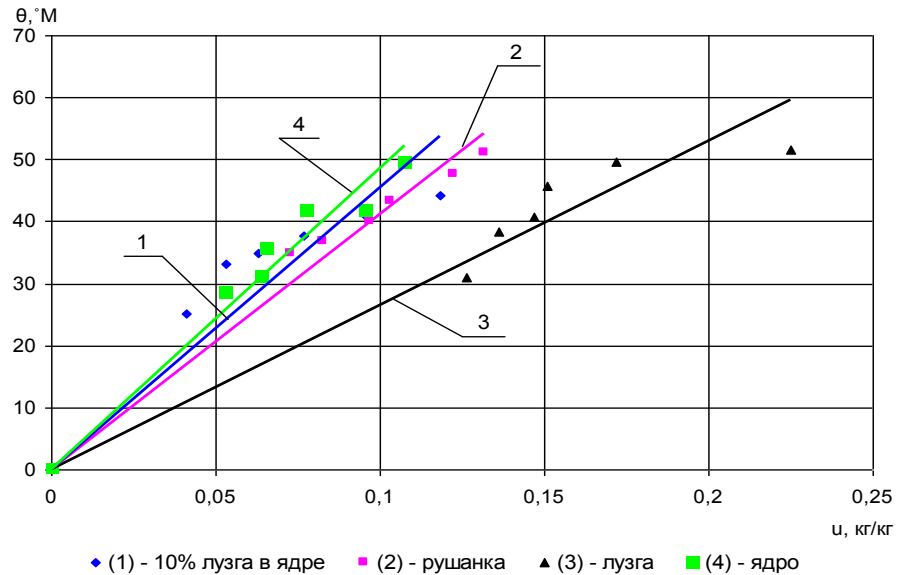


Рис. 4.6. Залежності потенціалу масопереносу елементів насіння ріцини від їх вологовмісту

В результаті апроксимації залежностей потенціалу масопереносу від вологовмісту отримані рівняння регресії, які мають наступний вигляд:

Рівняння регресії наведені на графіках рис. 4.6 мають вигляд:

- для ядра

$$\theta_{\text{я}} = 486.36u_{\text{я}}; \quad (4.1)$$

- для рушанки

$$\theta_{\text{р}} = 411.19u_{\text{р}}; \quad (4.2)$$

- для лушпиння

$$\theta_{\text{л}} = 265u_{\text{л}}. \quad (4.3)$$

- для 10% -ного вмісту лушпиння в ядрі ріцини

-

$$\theta_{\text{р}\%} = 454.38u_{\text{р}\%}. \quad (4.4)$$

Залежності питомої ізотермічної масоємності від вмісту води елементів насіння ріцини представлені на рис. 4.6.

Рівняння регресії питомої ізотермічної масоємності ядра $c_{тя}$, рушанки $c_{тр}$, лушпиння $c_{тл}$, 10%-му вмісту лушпиння в ядрі $c_{тп\%}$ відповідно мають вигляд:

- для ядра

$$c_{тя} = 10^{-17} u_{я} + 0.002, \quad (4.5)$$

- для рушанки

$$c_{р} = 2 \cdot 10^{-17} u_{р} + 0.0024, \quad (4.6)$$

- для лушпиння

$$c_{тл} = 2 \cdot 10^{-17} u_{л} + 0.0038, \quad (4.7)$$

- для 10 %-ного вмісту лушпиння в ядрі ріцини

-

$$c_{р\%} = 2 \cdot 10^{-17} u_{р\%} + 0.0021. \quad (4.8)$$

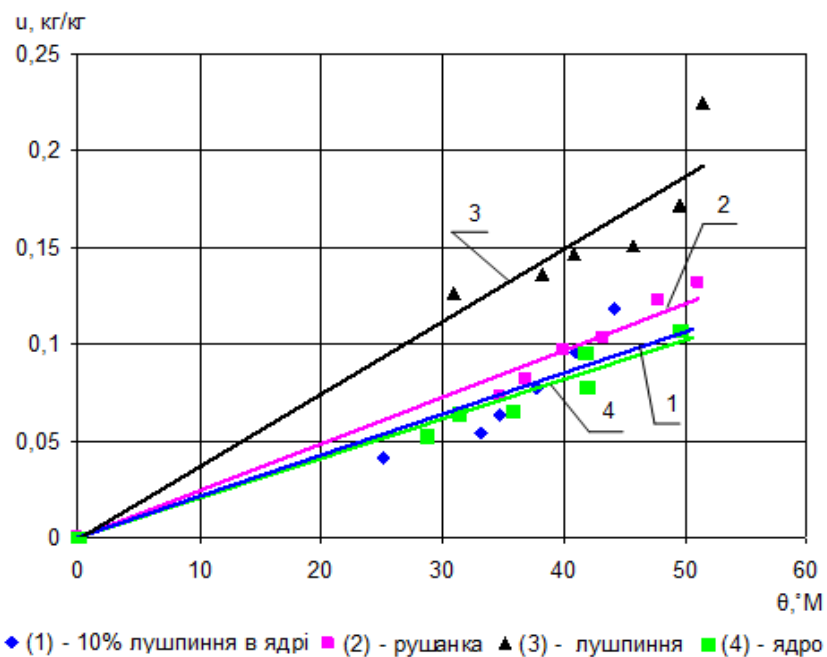


Рис. 4.7. Залежності питомої ізотермічної масоємності від вмісту води елементів насіння ріцини

Виконуючи досліди при різних концентраціях сірчаної кислоти, яка створює відповідну вологість навколишнього повітря, отримані залежності (рис. 4.8) між вологовмістом досліджуваного матеріалу (ядро і лушпиння) і вологістю повітря $u=f(\varphi)$ при постійній температурі $T=20^{\circ}\text{C}$.

Рівняння регресії наведених на графіках залежностей (рис. 2.11) мають вигляд:

- для ядра

$$u_{\text{л}} = -5 \cdot 10^{-6} \varphi^2 + 0.0009 \varphi, \quad (4.9)$$

- для лушпиння

$$u_{\text{л}} = -4 \cdot 10^{-6} \varphi^2 + 0.0018 \varphi. \quad (4.10)$$

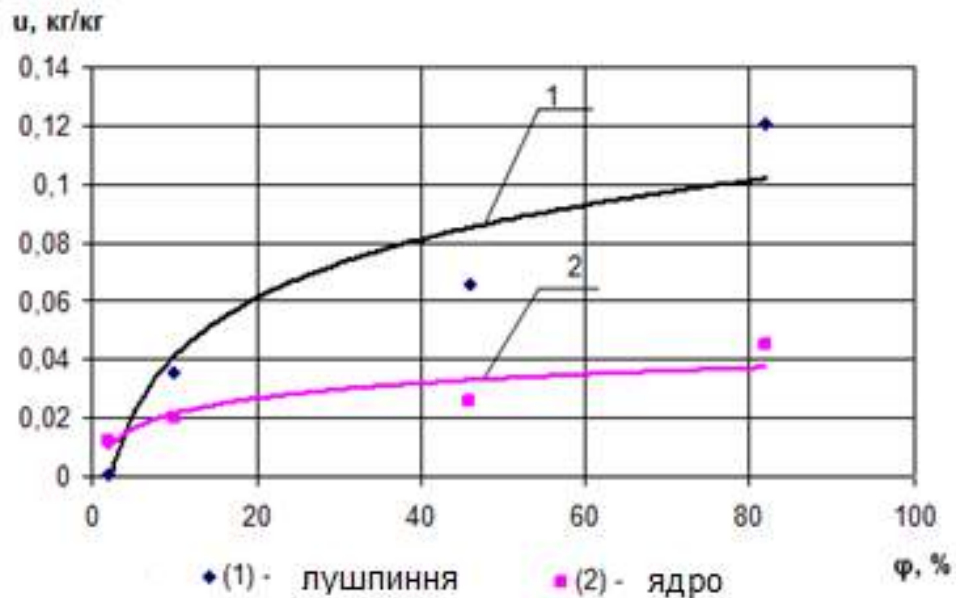


Рис. 4.8. Ізотерми сорбції та десорбції елементів насіння ріцини

Аналізом залежностей встановлено, що зі збільшенням вологості повітря збільшується вміст води ядра і лушпиння насіння ріцини. Але при однаковій вологості повітря вологовміст буде більше в лушпинні.

Таким чином, якщо при однаковому тиску пари, що подається для зволоження рушанки, час, необхідний для її зволоження до відповідної вологості в процесі висушування буде менше в той рушанки, де лушпиння буде більше.

4.2.2. Результати експериментального дослідження енергії зв'язку вологи із елементами насіння рицини

Отримуємо залежності між енергією зв'язку вологи і вологовмістом досліджуваного матеріалу $E = f(u)$.

Виконуючи досліди при різних концентраціях сірчаної кислоти визначено енергію, що витрачається на відрив одного моля води для даного вмісту вологи ядра, або лушпиння при постійній температурі $T = 20^\circ\text{C}$ (рис 4.9)

Результати експериментального дослідження **енергії зв'язку вологи від елементів насіння рицини** наведені на рис. 4.6.

В результаті апроксимації залежностей **енергії зв'язку вологи від елементів насіння рицини** отримані рівняння регресії, які мають наступний вигляд:

Рівняння регресії залежностей наведених на рис 4.9 мають вигляд:

- для ядра

$$E_{\text{я}} = 112.81e^{-25.71u}, \quad (4.11)$$

- для лушпиння

$$E_{\text{л}} = 290.54e^{-92.949u}. \quad (4.12)$$

Аналізом залежностей встановлено, що енергії на відрив 1 моля води витрачається тим більше, чим менше вологовміст в ядрі і лушпинні рицини. Причому, при однаковому вологовмісті і в елементах насіння рицини, більше витрачається енергії на відрив 1 моля води в лушпинні. Таким чином, чим більше в рушанці рицини буде присутнє лушпиння, тим більше необхідно енергії на відрив 1 моля води і тим менше часу буде витрачено на сушку в процесі жаріння, так як при витраті енергії виділяється теплота, яка також витрачається на сушку олійної сировини [8].

Експериментально визначено енергію зв'язку води з ядром насіння рицини, яка складала від 5 до 100 кг·м/моль·градус при зміні вологовмісту ядра від 0,045 до 0,015 кг/кг.

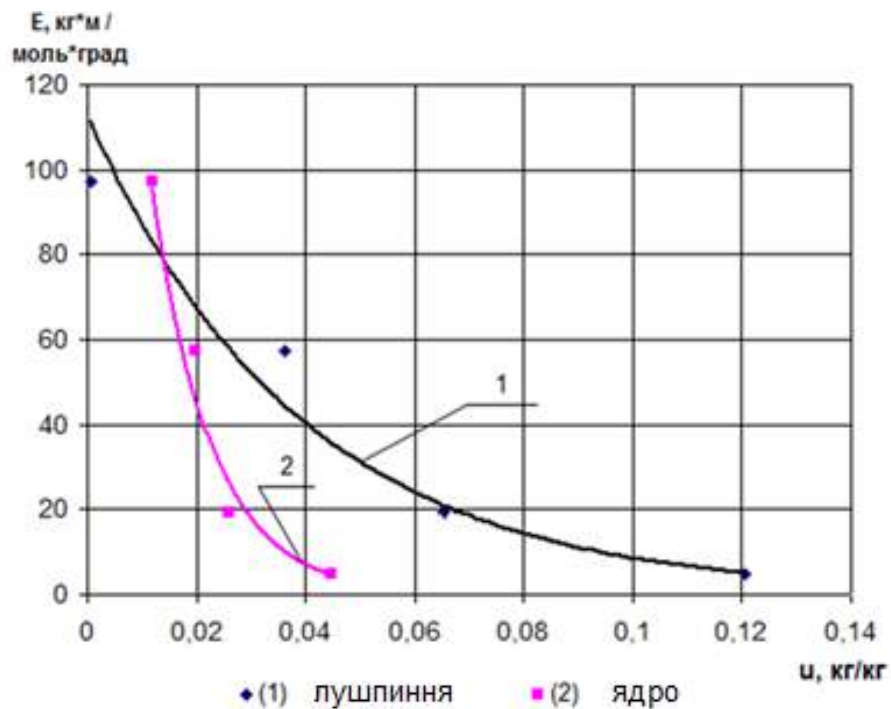


Рис. 4.9. Залежність енергії зв'язку води з елементами насіння рицини від їх вологовмісту

У семичанній жаровні тільки в сьомому чані вологовміст становить 0,0491 кг/кг. Таким чином, отримані експериментальні дані при розрахунку семичанної жаровні придатні для практичного використання тільки суміші із ядра та лушпиння.

Енергія зв'язку води з лушпинням насіння рицини змінювалася від 5 до 100 кг·м/моль·градус при зміні вмісту води лушпиння від 0,12 до близько нуля. За експериментальними даними отримані відповідні рівняння регресії. Так як енергія зв'язку води з оболонкою змінюється в широкому діапазоні вологовмісту оболонки від 0,12 кг/кг до нуля, а енергія зв'язку води з ядром при його вологовмісті тільки від 0,045 до 0,015 кг/кг, то ж суміш ядра і оболонки насіння рицини по закону адитивності визначити не вдасться. Однак, результати дослідження мають сенс, оскільки доводять різку відміну енергії зв'язку води з елементами насіння рицини від енергії зв'язку води їх природного змішування.

4.3. Результати експериментальних досліджень ефективності волого-теплової обробки м'ятки насіння рицини

4.3.1. Результати дослідження впливу початкової вологості м'ятки рицини на вихід олії

Визначаємо робочий об'єм виходячи з висоти шару 160 мм.

$$V_p = \frac{\pi d^2}{4} H = \frac{\pi \cdot 1.7^2}{4} \cdot 1.6 = 3.6298 \text{ дм}^3, \quad (4.13)$$

Насипна маса розрахованого об'єму складе:

$$m_p = \rho \cdot V_p = 0.535 \cdot 3.6298 = 1.9419 \text{ кг}, \quad (4.14)$$

Приймаємо робочу навіску масою 2 кг.

Попередній розрахунок показав наступну потребу вологи для кожного досліджу:

$$\Delta W = [0.4502, 0.6207, 0.9165, 1.0259, 1.1406] \text{ кг}, \quad (4.15)$$

При відтиску мезги в розгорнутому каналі отримали наступну масу олії

$$m_b = [0.8202, 0.8285, 0.8603, 0.8461, 0.8369] \text{ кг}, \quad (4.16)$$

що склало наступні критерії відносної кількості олії

$$\mu = [0.982, 0.992, 1.032, 1.0013, 1.002], \quad (4.17)$$

Графічна залежність критерію відносної кількості олії від початкової вологості м'ятки представлена на рис. 4.10.

Тоді олія, що залишилась в макусі складе різницю між вихідною кількістю олії і виділеною при пресуванні:

$$[0.2006, 0.1923, 0.1605, 0.1747, 0.1839] \text{ кг}, \quad (4.88)$$

Макуха, що містить олію, що залишилась плюс знежирену частину мезги:

$$[1.0358, 1.0275, 0.9957, 1.0099, 1.0191] \text{ кг}, \quad (4.19)$$

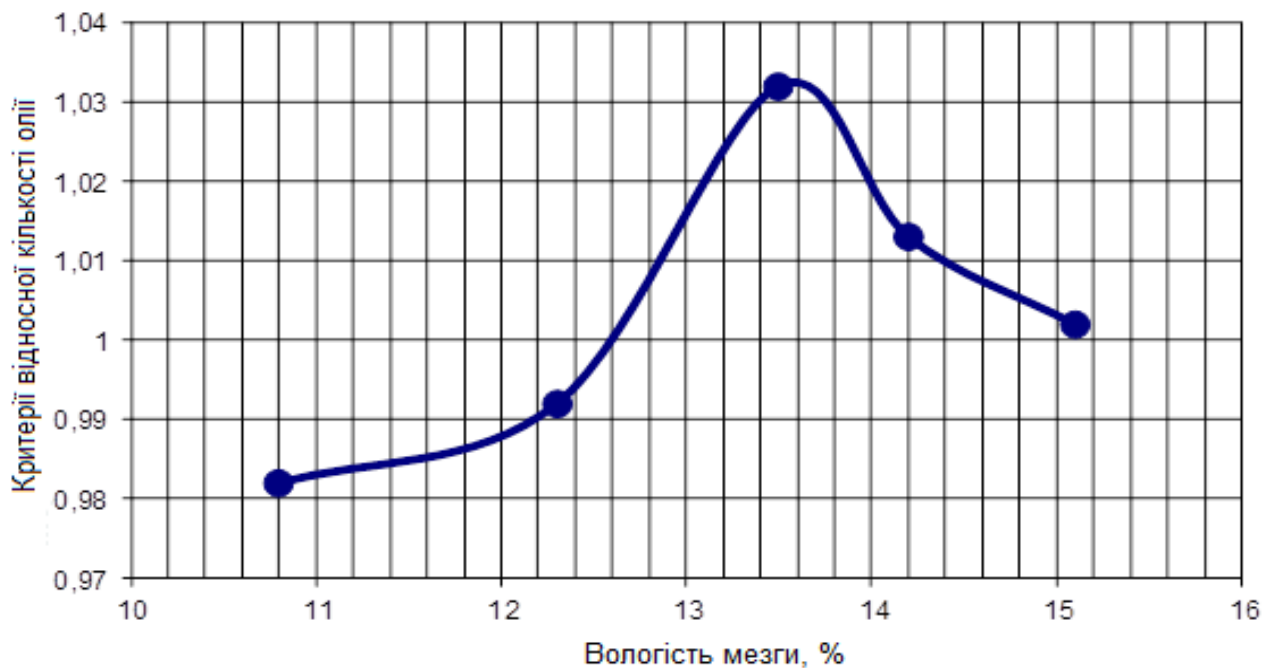


Рисунок 4.10. Залежність критерію відносної кількості олії від початкової вологості м'ятки

Критерій відносної олійності макухи визначається як відношення кількості олії, що залишилась в макусі до загальної кількості макухи:

$$\eta_m = [0.1937, 0.1872, 0.1612, 0.1730, 0.1804], \quad (4.20)$$

Олійність макухи в відсотках:

$$[19.3660, 18.7157, 16.1186, 17.2980, 18.0448] \%, \quad (4.21)$$

Залежність олійності макухи від початкової вологості м'ятки

представлена на рис. 4.11. Відсоток віджатої олії від початкової кількості відповідно склав:

$$[79.1852, 80.6326, 86.4015, 83.7806, 82.1215] \%, \quad (4.22)$$

Таким чином, найкращим варіантом з проведеної серії досліджень є варіант з початковою вологістю 13,5%.

Як видно з графіка (рис. 6.15) критерій відносної кількості олії різко відрізняється від випадків при початковій вологості 11 і 12% зліва і від вологості 14 і 14,5% справа і становить 1.032.

Критерій відносної олійності теж значно відрізняється від інших варіантів і становить 0,1612. З графіка (рис. 4.11) видно, що олійність макухи в цьому варіанті значно нижче інших варіантів і становить всього 16,1186 %, що є кращим результатом з відомих нам даних.

На графіку (рис. 4.12) спостерігається значне відхилення даних в розглянутому варіанті віджатої олії з м'ятки по відсотку від вихідного, яке склало 86,4015%.

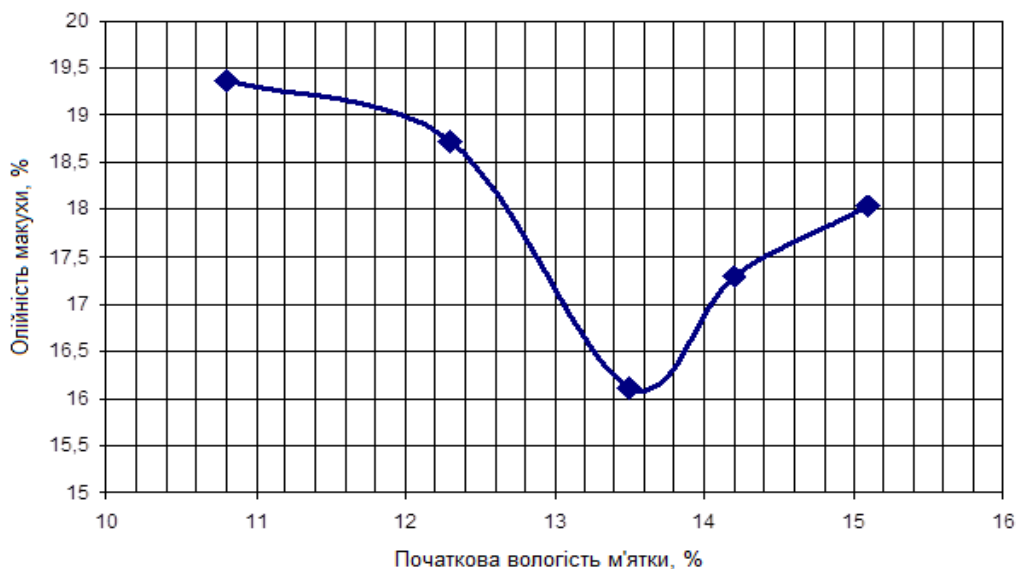


Рис. 4.11. Залежність олійності макухи від початкової вологості м'ятки

При проведенні числових досліджень експериментальної семичанної жаровні ми розглядали варіант з доведення вологості м'ятки в першому чані до 13,5% і подальшим сушінням в наступних шести чанах при тиску зарубашечної пари 0,5МПа з часом висушування 60 хв.

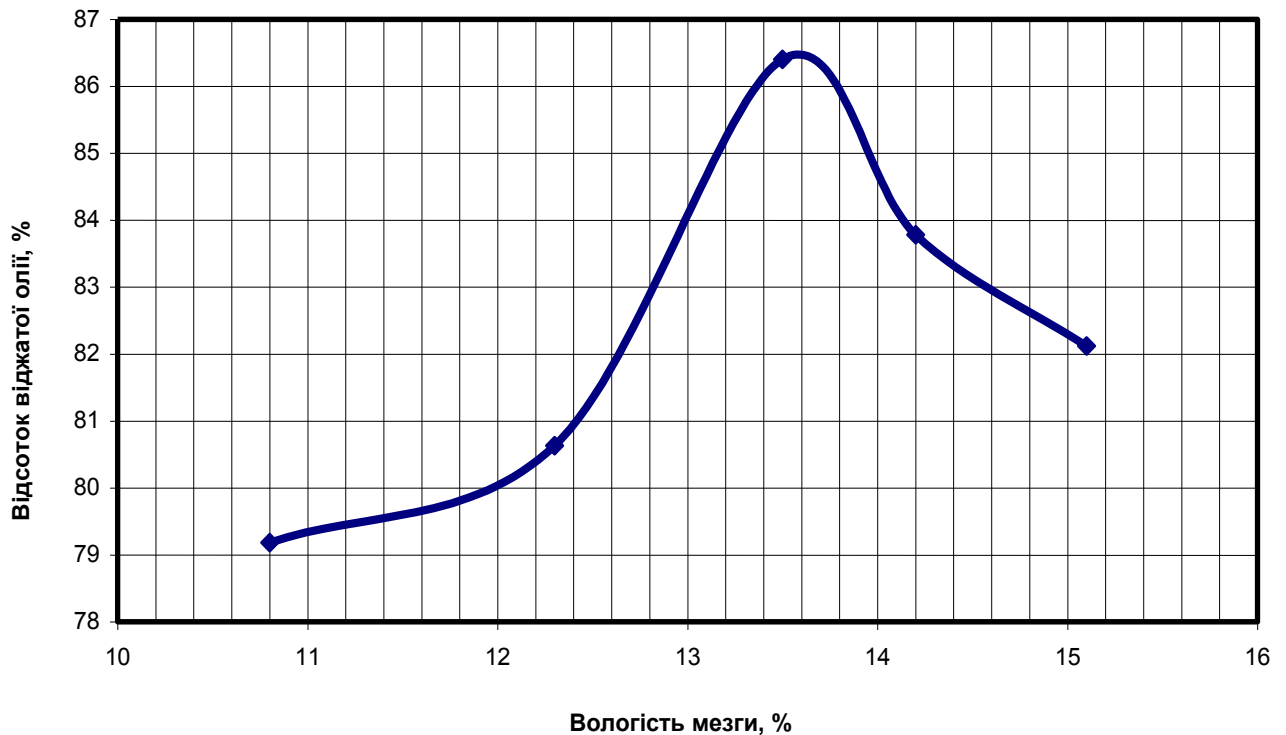


Рисунок 4.12. Залежність відсотка віджатої олії від початкової вологості

Для числових досліджень математичної моделі тепломасопереносу отримані результати є достатніми, але для оцінки ефективності технологічних режимів волого-теплової обробки це є недостатнім тому, що ці показники зі зміною інших технологічних режимів також змінюється.

4.3.2. Результати дослідження впливу технологічних режимів волого-теплової обробки м'ятки на вихід олії

В результаті проведення експериментальних досліджень отримані залежності відносної кількості олії і фузи від кінцевої вологості мезги після процесу її сушіння $\mu_o=f(W_{к.с.})$, $\eta_{\phi}=f(W_{к.с.})$ (рис. 4.13) при зволоженні м'ятки до $W_{к.з.}=11\%$ та тиску пари, що гріє $p_{зр}=0,3\text{МПа}$, $p_{зр}=0,4\text{МПа}$ та $p_{зр}=0,5\text{МПа}$.

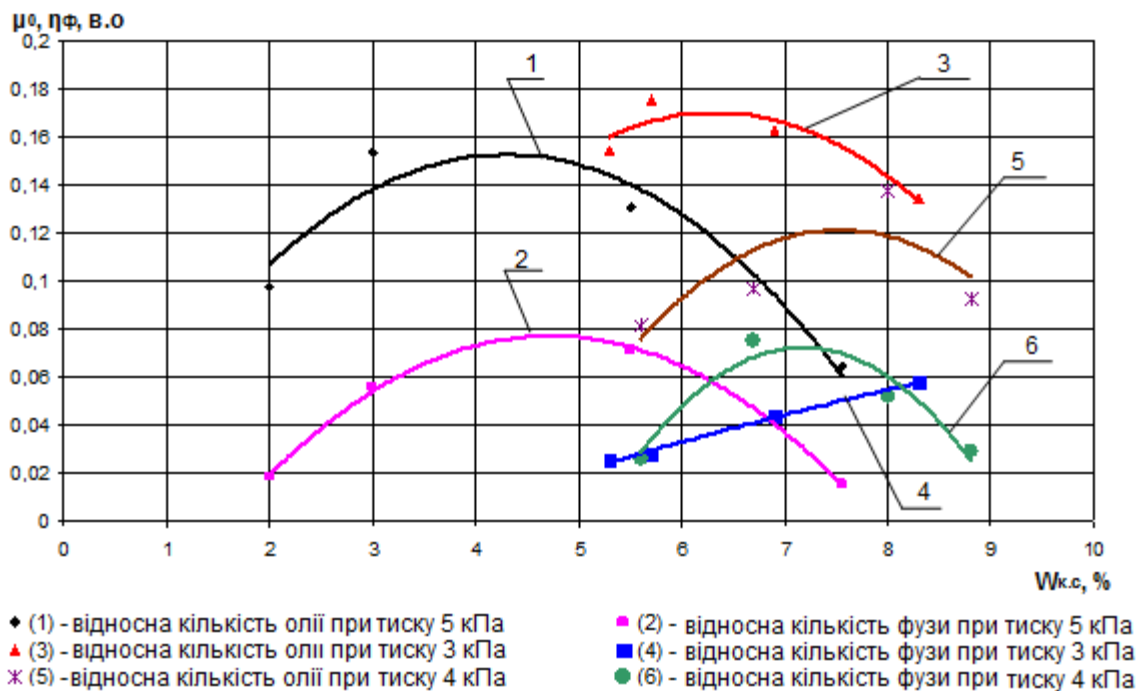


Рис. 4.13. Залежність відносної кількості олії і фузи від кінцевої вологості мезги після процесу її сушіння при $W_{к.з.}=11\%$; $p_{гр}=0,3$ МПа, $p_{гр}=0,4$ МПа та $p_{гр}=0,5$ МПа.

Рівняння регресії залежностей наведених на рис. 4.13 мають вигляд:

- для відносної кількості олії при тиску пари, що гріє, 0,3 МПа:

$$\mu_0 = -0,0095 \cdot W_{к.з.}^2 + 0,1202 \cdot W_{к.з.} - 0,2098 \text{ при } R^2=0,9986, \quad (4.23)$$

- для відносної кількості олії при тиску пари, що гріє, 0,4 МПа:

$$\mu_0 = -0,0122 \cdot W_{к.з.}^2 + 0,1835 \cdot W_{к.з.} - 0,5695 \text{ при } R^2=0,9828, \quad (4.24)$$

- для відносної кількості олії при тиску пари, що гріє, 0,5 МПа:

$$\mu_0 = -0,0087 \cdot W_{к.з.}^2 + 0,0749 \cdot W_{к.з.} - 0,0081 \text{ при } R^2=0,9919, \quad (4.25)$$

- для відносної кількості фузи при тиску пари, що гріє, 0,3 МПа:

$$\eta_{\phi} = -0,0005 \cdot W_{к.с.}^2 + 0,018 \cdot W_{к.с.} - 0,0573 \text{ при } R^2=0,9996, \quad (4.26)$$

- для відносної кількості фузи при тиску пари, що гріє, 0,4 МПа:

$$\eta_{\phi} = -0,0177 \cdot W_{к.с.}^2 + 0,2544 \cdot W_{к.с.} - 0,8402 \text{ при } R^2=0,9851, \quad (4.27)$$

- для відносної кількості фузи при тиску пари, що гріє, 0,5 МПа:

$$\eta_{\phi} = -0,0078 \cdot W_{к.с.}^2 + 0,0738 \cdot W_{к.с.} - 0,0974 \text{ при } R^2=0,9993, \quad (4.28)$$

Як видно (рис. 4.13), всі залежності для відносної кількості олії при тиску пари, що гріє $p_{зр}=0,3$ МПа, $p_{зр}=0,4$ МПа та $p_{зр}=0,5$ МПа мають максимальні значення, відповідні величинам вологості $W_{к.с} = 6,25\%$, $W_{к.с} = 7,5\%$ та $W_{к.с} = 4,2\%$. При зниженні або збільшенні вологості від цих значень спостерігається зменшення отриманої відносної кількості олії при всіх тисках. Пов'язано це з тим, що зі збільшенням вологості мезги, вона стає дуже пластичною, і тому, при пресуванні частина мезги, проходить разом з олією через зерні пластини преса, а частина мезги продавлюється через мікрощілини, що існують між поршнем і каналом в іншу його частину. Це призводить до зменшення виходу чистої олії. Але, зі зниженням вологості від оптимального значення, мезга, що отримується починає розсіпатися. Відповідно, це призводить також до зниження виходу олії і підвищеної її олійності. При оптимальній кінцевій вологості, мезга отримує певні пружні властивості. Це допоможе уникнути потрапляння в загальну вихідну масу частинок мезги (фузи) і продавлювання її через мікрощілини, що існують між поршнем і каналом.

При тиску пари, що гріє $p_{зр}=0,3$ МПа, де витрата парогенератора становить 0,194 кг / хв, отримано найбільшу кількість олії і найменшу кількість

фузи. При цьому відносна кількість олії становить $\mu_o = 0,17$, відносна кількість фузи – $\eta_f = 0,06$. При тиску пари, що гріє $p_{ep} = 0,4$ МПа та $p_{ep} = 0,5$ МПа (витрата парогенератора складає $Q = 0,156$ кг/хв и $Q = 0,114$ кг/хв), отримано відповідно $\mu_o = 0,12$ та $\mu_o = 0,15$ (при цьому $\eta_f = 0,07$ та $\eta_f = 0,075$). Пояснюється це тим, що зі збільшенням тиску пари, збільшується і його температура. Це тягне за собою і збільшення температури нагріву мезги. Але в разі використання високих температур йде інтенсивна денатурація білків. Це різко знижує пластичність мезги. Як правило, така мезга має дуже неоднорідну структуру, що негативно позначається на процесі пресування.

Таким чином, при зволоженні мезги до $W_{к.з.} = 11\%$ та сушінні до $W_{к.с.} = 6,25\%$, витрата парогенератора $Q = 0,194$ кг/хв, отримана найбільша відносна кількість олії $\mu_o = 0,17$, при цьому відносна кількість фузи має найменше значення та складає $\eta_f = 0,06$.

Для виявлення впливу зволоження мезги на кінцевий продукт (μ_o та η_f) з урахуванням попередніх експериментів (рис. 4.13), проведені дослідження при тиску пари, що гріє $p_{ep} = 0,3$ МПа та за різної початкової вологості $W_{к.з.} = 9\%$, 11% та 13% (рис. 4.14).

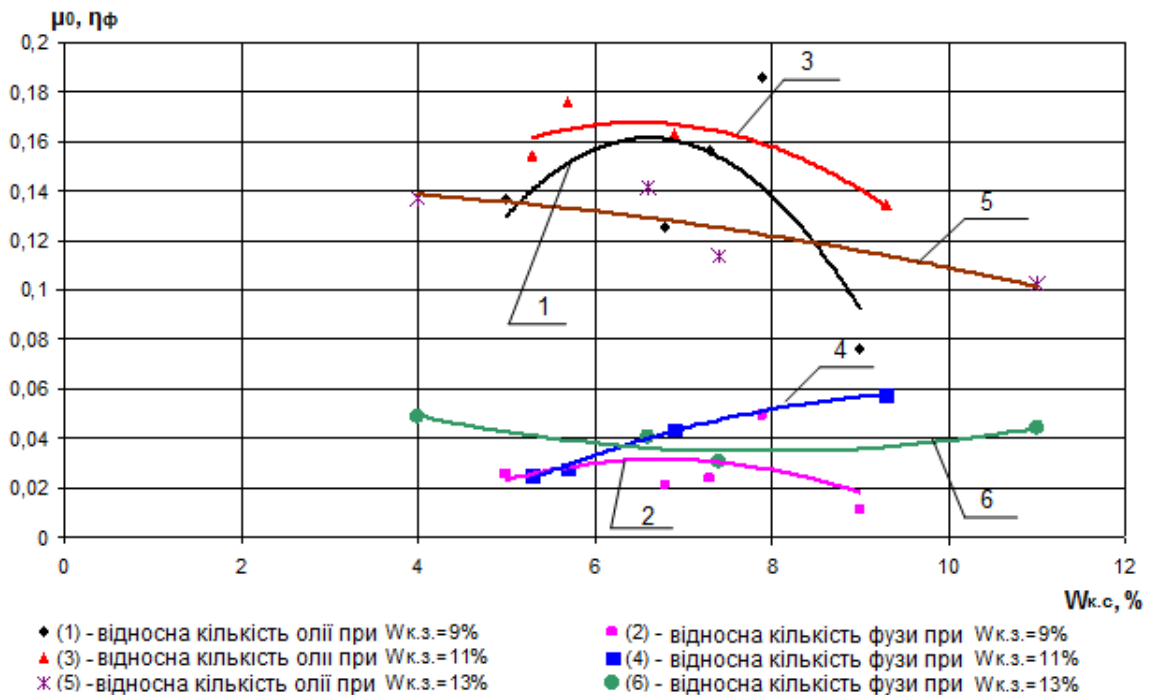


Рис. 4.14. Залежність відносної кількості олії і фузи від кінцевої вологості мезги після процесу її сушіння при $W_{к.з.} = 9\%$; $W_{к.з.} = 11\%$; $W_{к.з.} = 13\%$ и $p_{ep} = 0,3$ МПа.

Проведеними дослідженнями встановлено, що при зволоженні мезги до $W_{к.з.}=9\%$ та $W_{к.з.}=13\%$, максимальна відносна кількість олії становить $\mu_o=0,162$ та $\mu_o=0,114$ відповідно. При такій кількості олії відносна кількість фузи становить $\eta_\phi=0,03$ та $\eta_\phi=0,05$ відповідно.

Отримана відносна кількість олії при зволоженні мезги до $W_{к.з.}=9\%$ та $W_{к.з.}=13\%$ має менше значення, ніж кількість олії ($\mu_o = 0,17$), отриманої при зволоженні м'ятки до $W_{к.з.}=11\%$. Це є переважаючим фактором при виборі необхідних режимів волого-теплової обробки м'ятки рицини в процесі виробництва рицинової олії.

Рівняння регресії залежностей наведених на рис. 4.14 мають вигляд:

- для відносної кількості олії і фузи при тиску пари, що гріє, при $p_{зр}=0,3$ МПа, та зволоженні мезги до $W_{к.з.}=11\%$ рівняння регресії наведені в формулах (4.23) та (4.26);

- для відносної кількості олії при тиску пари, що гріє, при $p_{зр}=0,3$ МПа, та зволоженні мезги до $W_{к.з.}=9\%$:

$$\mu_o = -0,0121W_{к.з.}^2 + 0,1601W_{к.з.} - 0,3683 \text{ при } R^2=0,9629, \quad (4.29)$$

- для відносної кількості олії при тиску пари, що гріє, при $p_{зр}=0,3$ МПа, та зволоженні мезги до $W_{к.з.}=13\%$:

$$\mu_o = -0,0004W_{к.з.}^2 + 0,0004W_{к.з.} + 0,1431 \text{ при } R^2=0,9995, \quad (4.30)$$

- для відносної кількості фузи при тиску пари, що гріє, при $p_{зр}=0,3$ МПа, та зволоженні мезги до $W_{к.з.}=9\%$:

$$\eta_\phi = -0,0027 \cdot W_{к.з.}^2 + 0,036 \cdot W_{к.з.} - 0,0904 \text{ при } R^2=0,7770, \quad (4.31)$$

- для відносної кількості фузи при тиску пари, що гріє, при $p_{зр}=0,3$ МПа,

та зволоженні мезги до $W_{к.з.}=13\%$:

$$\eta_{\phi} = 0,001 \cdot W_{к.з.}^2 - 0,0152 \cdot W_{к.з.} + 0,0944 \text{ при } R^2=0,9920, \quad (4.32)$$

Коефіцієнти детермінації рівнянь регресії (4.23) – (4.32), вказують, що рівняння регресії (4.23) – (4.32) достатньо точно відображають значення μ_o і η_{ϕ} , отримані експериментальним шляхом. Перевіркою за критерієм Фішера встановлено, що всі коефіцієнти детермінації значимі для всіх значень α , окрім $\alpha=5\%$ для формули (4.31).

При перевірці за критерієм Стюдента встановлено, що усі коефіцієнти рівнянь регресії (4.23) – (4.32) значимі.

Таким чином, експериментальними дослідженнями встановлено режими волого-теплової обробки м'ятки рицини перед її пресуванням: тиск пари, що гріє становить $p_{gp}=0,3$ МПа; кінцева вологість мезги для періоду зволоження $W_{к.з.}=11\%$; кінцева вологість мезги для періоду сушки $W_{к.с.}=6,25\%$. Це дозволило отримати критерії ефективності технологічного процесу на рівні: відносна кількість олії становить $\mu_o=0,17$, відносна кількість фузи - $\eta_{\phi}=0,06$.

Обробка м'ятки насіння рицини вологою і теплом при інтенсивному перемішуванні та доведенням її вологості і температури до оптимальних величин на протязі визначеного часу викликає змінення ряду фізико-хімічних властивостей м'ятки і олії, яка в ній міститься, що сприяє найкращому ефекту віджиму олії.

Волого-теплова обробка є однією з найважливіших технологічних операцій при підготовці насіння рицини до віджиму олії пресуванням та надає вирішальний вплив на кількість і якість кінцевих продуктів: олії, макухи чи шроту. Але, максимальна кількість олії з насіння рицини буде забезпечуватися тільки при оптимальних значеннях технологічних режимів волого-теплової обробки м'ятки насіння рицини. Визначення оптимальних

значень технологічних режимів волого-теплової обробки м'ятки перед віджимом олії можливе тільки шляхом проведення планового експерименту з подальшою процедурою оптимізації.

Функції $\mu_o=f(W_{к.с.})$ (4.23) – (4.25), (4.29) були досліджені на екстремум за умови $\mu_o \rightarrow \max$ методом градієнтного спуску на персональному комп'ютері в програмі MATHCAD функцією Maximize. Оптимальні значення $W_{к.с.}$ за умови максимального виходу олії наведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Оптимальні значення $W_{к.с.}$ за умови максимального виходу олії

Тиск пари, кПа	Оптимальне значення $W_{к.с.}$, %	Значення функції $\mu_o=f(W_{к.с.})$, що відповідає оптимальному значенню $W_{к.с.}$
Після процесу сушіння м'ятки при $W_{к.з.}=11\%$		
3	6,326	0,17
4	7,52	0,121
5	4,305	0,153
Після процесу сушіння м'ятки при $W_{к.з.}=9\%$		
3	6,616	0,161

Функція $\eta_\phi=f(W_{к.с.})$ (4.32) була досліджена на екстремум за умови $\eta_\phi \rightarrow \min$ методом дихотомії на персональному комп'ютері в програмі MATHCAD, для чого була розроблена спеціальна програма.

Оптимальне значення $W_{к.с.}$ за умови мінімального виходу фузу $W_{к.з.}=13\%$ і $p_{zp}=0,3$ кПа становить 7,6%, при цьому $\eta_\phi=0,037$.

Залежність оптимальних значень $W_{к.с.}$ за умови максимального виходу олії від тиску граючої пари при $W_{к.з.}=11\%$ наведена на рис. 4.15.

Залежність оптимальних значень $W_{к.с. \text{ опт}}$ за умови максимального виходу олії від тиску граючої пари при $W_{к.з.}=11\%$ апроксимується виразом:

$$W_{к.с. \text{ опт}} = -2,2 \cdot p_{zp}^2 + 16,6 \cdot p_{zp} - 23,7 \text{ при } R^2=1,0. \quad (4.33)$$

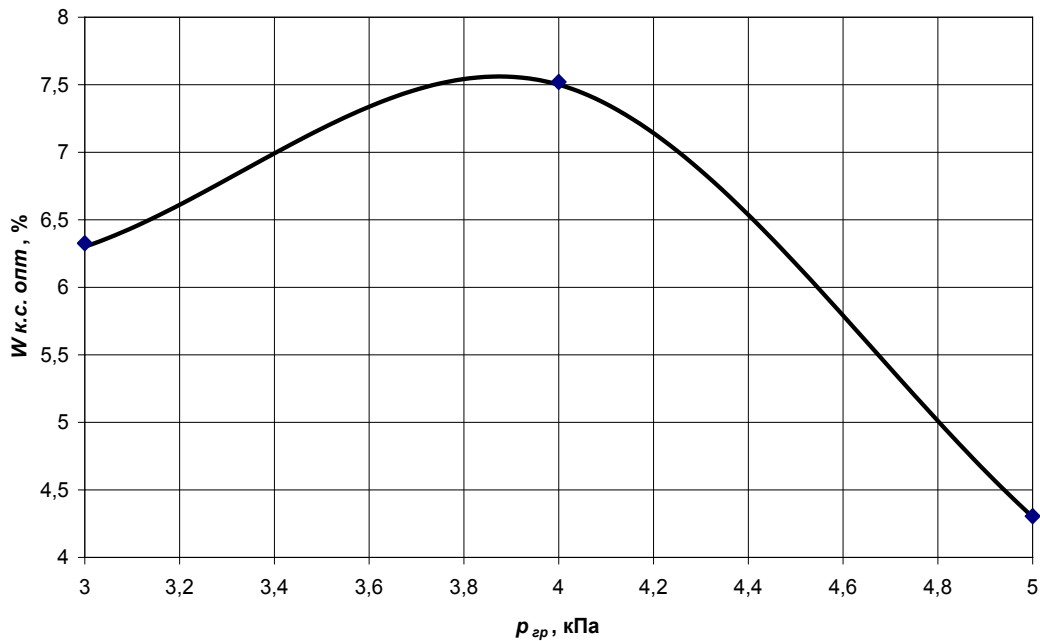


Рис. 4.15. Залежність оптимальних значень $W_{к.с. опт.}$ за умови максимального виходу олії від тиску граючої пари при $W_{к.з.} = 11\%$

Коефіцієнт детермінації рівняння регресії (4.33) вказує, що рівняння регресії (4.33) повністю відображає значення $W_{к.с. опт.}$, наведені в табл. 1. Перевіркою за критерієм Фішера встановлено, що коефіцієнт детермінації значимий для всіх значень α . При перевірці за критерієм Стюдента встановлено, що усі коефіцієнти рівняння регресії (4.33) значимі.

4.3.3. Оптимізація технологічних режимів волого-теплової обробки м'ятки рицини

Основним завданням планування експерименту є знаходження статистичної математичної моделі об'єкту дослідження її у вигляді полінома (рівняння регресії) першого або другого ступеня. Загальний хід побудови і подальшого дослідження математичної моделі викладено в [237, 238] та зводиться до наступного:

- попереднього дослідження об'єкту;
- вибору критеріїв оптимізації, впливовості чинників;
- побудови статистичної математичної моделі та оцінки її адекватності і

відтворюваності;

- використання статистичної моделі для оптимізації досліджуваного процесу.

Основна мета оптимізації технологічних режимів волого-теплової обробки м'ятки є підвищення ефективності переробки рицини на рицинову олію.

Критерієм оптимізації є параметр, за яким оцінюється досліджуваний об'єкт і який зв'язує чинники в математичну модель. При проведенні багатофакторного експерименту за критерій оптимізації прийнято масу олії (m , гр), що отримано при віджиманні в експериментальному комплексі [236].

На підставі апріорної інформації встановлено, що на процес волого-теплової обробки м'ятки насіння рицини в розробленому експериментальному комплексі впливають наступні чинники: кінцева вологість мезги для періоду зволоження ($W_{к.з}$, %), кінцева вологість мезги для періоду сушіння ($W_{к.с}$, %), та тиск пари, що гріє ($p_{гр}$, МПа).

При кодуванні факторів використовувалася наступна формула:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta_i}, \quad (4.34)$$

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:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{i \leq j}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i \leq j}^k b_{ij} \cdot x_i^2 + \dots, \quad (4.35)$$

де b_i - коефіцієнт регресії i -го фактора; k - кількість факторів.

При проведенні багатфакторного експерименту, значення факторів, (табл. 4.9) кодували і, згідно з відомими методиками, знаходили коефіцієнти регресії b_i , які і визначають ступінь впливу зазначених факторів на критерій $y(m)$.

Перевірку і аналіз проводили за трьома критеріями:

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

Таблиця 4.9

Результати кодування факторів

Фактор	Кодоване позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
			Натуральні			Кодовані		
			Верхні	Нульові	Нижні	Верхні	Нульові	Нижні
$W_{зв}, \%$	x_1	± 2	13	11	9	1	0	-1
$W_c, \%$	x_2	± 2	9	7	5	1	0	-1
$p_{гр}, \text{кПа}$	x_3	± 1	5	4	3	1	0	-1

Перевірка відтворюваності дослідів полягає в оцінці однорідності порядкових дисперсій в матрицях плану. Визначаються дисперсії відтворюваності за критерієм Кохрена $G_p=607 < G_r=0,734$, що вказує на гарну відтворюваність дослідів.

За критерієм Стюдента визначаються коефіцієнти поліноміальної регресії. Для кожного коефіцієнту регресії з урахуванням середньоквадратичного відхилення визначаються розрахункові значення критерію Стюдента [237, 238]. Порівнюються теоретичне та табличне

значення за критерієм Стьюдента. На основі критерію Стьюдента коефіцієнт b_1 не значимий, тому в моделі відсутній.

В результаті розрахунків отримано модель другого порядку для розрахунку маси олії при віджиманні з насіння рицини в експериментальному комплексі від технологічних факторів:

$$y = 41,502 + 0,898x_2 - 3,069x_3 + 1,093x_1x_2 - 2,285x_1x_3 - 3,519x_2x_3 - 0,515x_1^2 + 2,233x_2^2 + 1,132x_3^2 \quad (4.36)$$

Для визначення адекватності моделі, порівняно критичне та розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_0^2}, \quad (4.37)$$

де S_0^2 - дисперсія відтворюваності; S_{ad}^2 - дисперсія адекватності моделі.

Перевірка показала адекватність рівняння регресії (4.38) $F_p = 1,155 < F_m = 2,475$. Отримана нелінійна модель адекватна та може бути використана при побудові області оптимуму.

Розкодована модель має вигляд:

$$y(m) = 12,027 + 6,412W_{к.з} - 3,334W_{к.с} + 12,759p_{зр} + 0,273W_{к.з}W_{к.с} - 1,143W_{к.з}p_{зр} - 1,760W_{к.с}p_{зр} - 0,129W_{к.з}^2 + 0,558W_{к.с}^2 + 1,132p_{зр}^2, \quad (4.39)$$

Для визначення точки оптимуму рівняння регресії другого порядку диференціюємо, прирівнюючи до нуля кожний фактор.

Двомірний перетин, при фіксованому факторі ($x_1 = 0$), характеризує

$W_{к.с}, p_{зр}$. Канонічне рівняння має вигляд:

$$y = 41,502 + 0,898x_2 - 3,069x_3 - 3,519x_2x_3 + 2,233x_2^2 + 1,132x_3^2, \quad (4.40)$$

Поверхня відгуку представляє собою «сідло», яке витягнуте за віссю x_1 – мінімум ($W_{к.с} = 5,72\%; p_{зр} = 3,71 \text{кПа}$), максимальне значення в точці ($W_{к.с} = 9\%; p_{зр} = 3,21 \text{кПа}$).

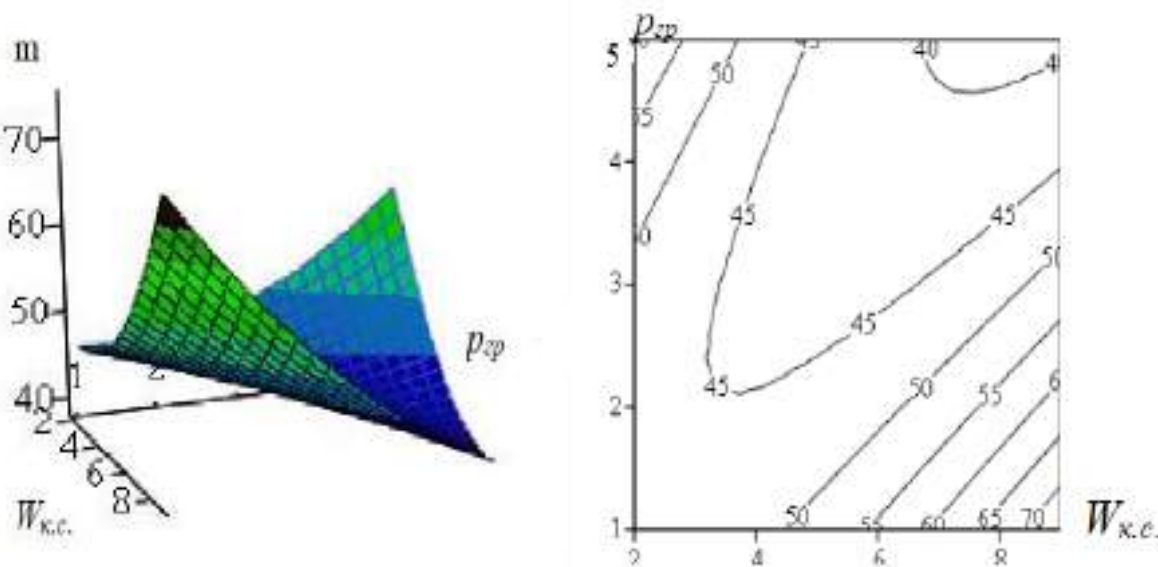


Рис. 4.16. Поверхня і лінії рівнів функції відгуку ($x_1=0$)

Двомірний перетин поверхні відгуку, який характеризує $W_{к.з}, p_{зр}$ при $x_2 = 0$ та рівнянні:

$$y = 41,502 - 3,069x_3 - 2,285x_1x_3 - 0,515x_1^2 + 1,132x_3^2, \quad (4.41)$$

Поверхня відгуку представляє собою «гребінь», який витягнуто за віссю x_2 – мінімум ($W_{к.з} = 9,144\%; p_{зр} = 4,419 \text{кПа}$).

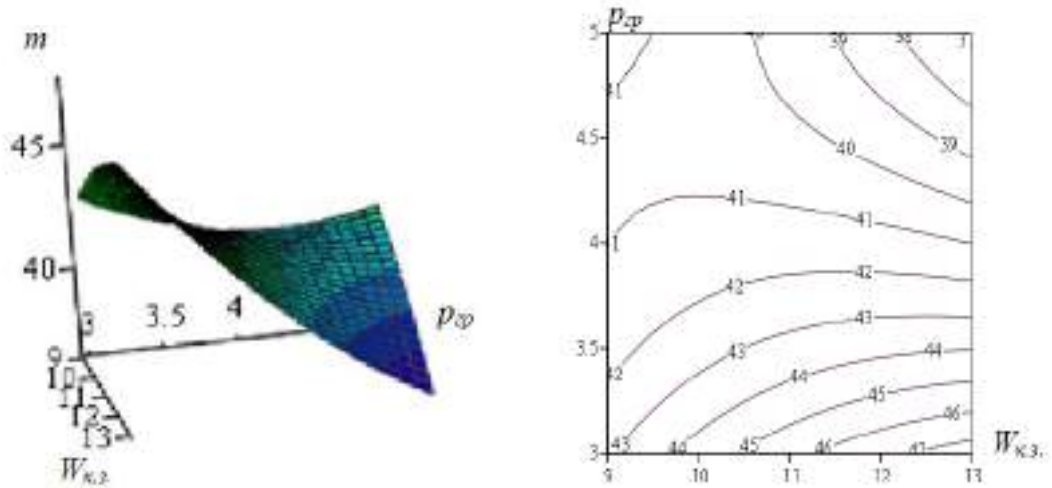


Рис. 4.17. Поверхня і лінії рівня функції відгуку ($x_2=0$)

Двомірний перетин поверхні відгуку, який характеризує $W_{к.3}W_{к.с}$ при $x_3 = 0$ та рівнянні:

$$y_i = 41,502 + 0,898x_2 + 1,093x_1x_2 - 0,515x_1^2 + 2,233x_2^2 \quad (4.42)$$

представлено на рис. 4.17.

Поверхня відгуку представляє собою «сідло», яке витягнуто за віссю x_3 – мінімум ($W_{к.3} = 10,662\%; W_{к.с} = 6,68\%$).

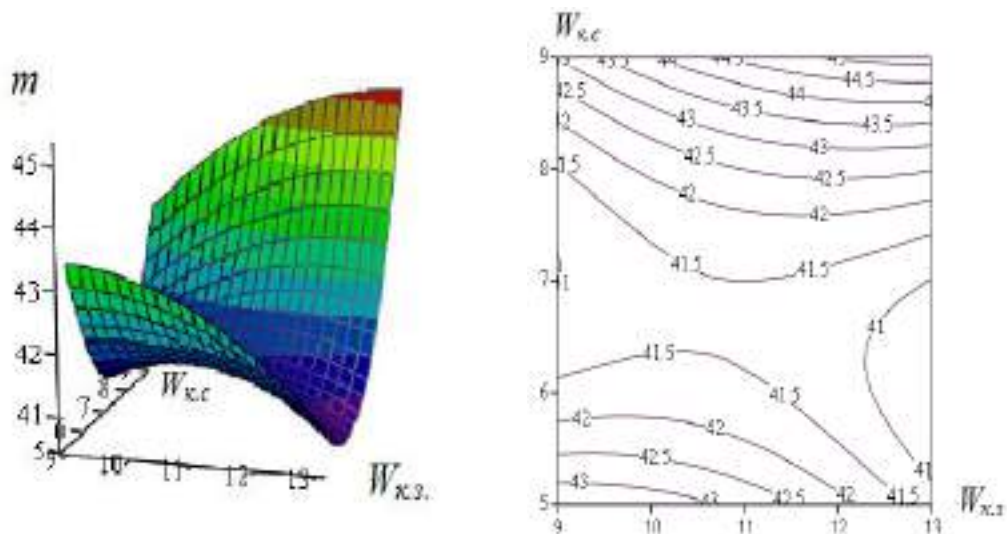


Рис. 4.18. Поверхня та лінії рівнів функції відгуку ($x_3=0$)

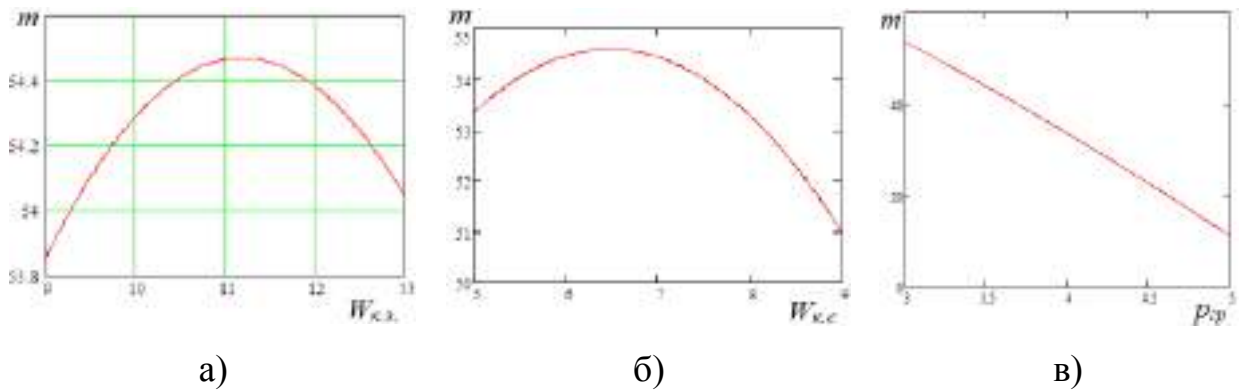


Рис. 4.19. Залежності маси олії m від: а) - кінцевої вологості мезги для періоду зволоження $W_{к.з}$; б) - кінцевої вологості мезги для періоду сушіння $W_{к.с}$; в) - тиску пари, що гріє $p_{гр}$.

Проведений аналіз залежностей ступеню впливу кожного фактора на критерій оптимізації (рис. 4.18). Так, при кінцевій вологості мезги для періоду зволоження $W_{к.з}=11,2\%$ (рис. 4.18, а) та кінцевій вологості мезги для періоду сушіння $W_{к.с}=6,4\%$ (рис. 4.18, б) досягається найбільша кількість олії $m=54,45$ гр. При зміні тиску пари, що гріє від $p_{гр}=0,5$ МПа до $p_{гр}=0,3$ МПа, маса отриманої олії збільшується від $m=13,3$ гр до $m=54,45$ гр.

Таким чином, в результаті виконаного повнофакторного експерименту для процесу волого-теплової обробки м'ятки насіння рицини визначено наступні оптимальні параметри для віджимання олії з олійної сировини:

- кінцева вологість мезги для періоду зволоження $W_{к.з}=9,144\dots 10,662\%$;
- кінцева вологість мезги для періоду сушіння $W_{к.с}=5,72\dots 6,68\%$;
- тиск пари, що гріє $p_{гр}=0,371\dots 0,442$ МПа.

4.4. Результати дослідження реологічних властивостей м'ятки насіння рицини

Результати експериментальних досліджень реологічних властивостей м'ятки насіння рицини наведені на рис. 4.19 у вигляді графіка залежності питомого тиску від ступеня стиснення м'ятки.

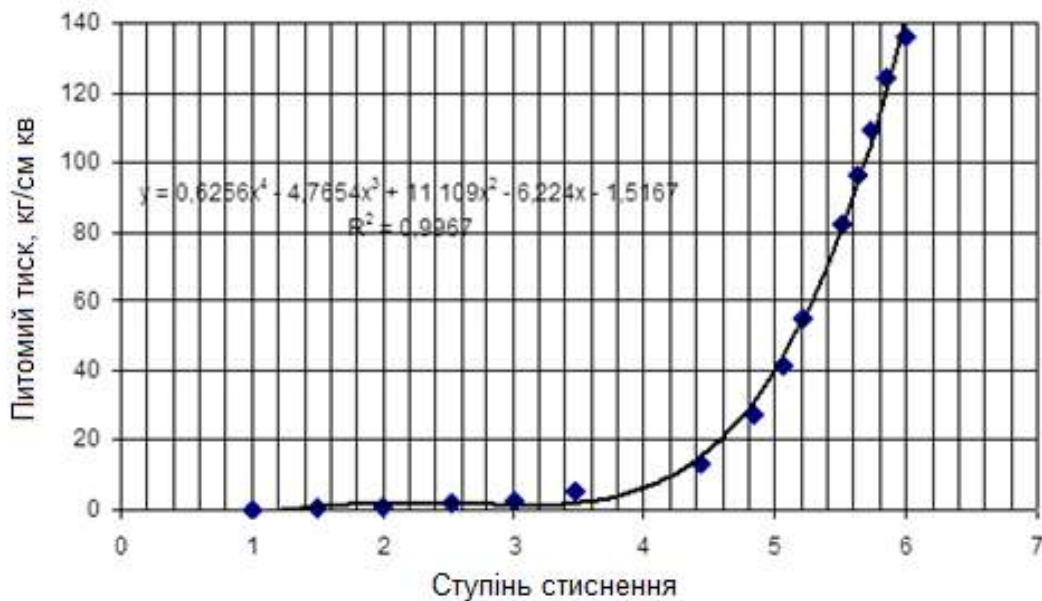


Рис. 4.20. Залежність питомого тиску від ступеня стиснення мезги при температурі жаріння і пресування 90°C і вологості 6.55%

Графік залежності питомого тиску від ступеня стиснення мезги при температурі жаріння і пресування 90°C і вологості 6.55% апроксимовано рівнянням регресії четвертого порядку:

$$y = 0.6256x^4 - 4.7654x^3 + 11.109x^2 - 6.224x - 1.5167. \quad (4.43)$$

Достовірність апроксимації інтерполяційного полінома визначена коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0.9967$.

Зворотна залежність, тобто залежність ступеня стиснення від питомого тиску. Ця залежність виражена рівнянням регресії шостого порядку:

$$y = -9 \cdot 10^{-11}x^6 + 4 \cdot 10^8x^5 - 7 \cdot 10^{-6}x^4 + 0.0006x^3 - 0.024x^2 + 0.4764x + 1.4206. \quad (4.44)$$

Достовірність апроксимації інтерполяційного полінома визначена коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0.9861$.

На рис. 4.20 представлені результати експериментів у вигляді графіка

залежності питомого тиску від коефіцієнта пористості м'ятки. Визначено рівняння регресії четвертого ступеня цієї залежності:

$$y = 2059.9x^4 - 4033.1x^3 + 2998.6x^2 - 1043.8x + 150.4 \quad (4.45)$$

Достовірність апроксимації інтерполяційного полінома визначена коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0.998$.

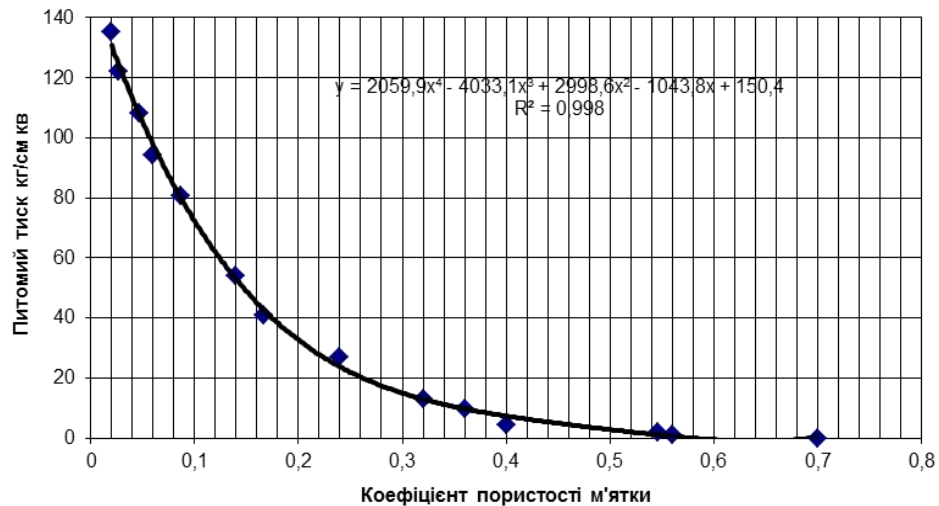


Рис. 4.21. Залежність питомого тиску від коефіцієнта пористості в м'ятці при температурі жаріння і пресування 90°C і вологості 6,55%

Зворотна залежність, тобто залежність коефіцієнта пористості м'ятки від питомого тиску. Ця залежність виражена рівнянням регресії шостого ступеня

$$y = 9 \cdot 10^{-12} x^6 - 4 \cdot 10^{-9} x^5 + 7 \cdot 10^{-7} x^4 - 6 \cdot 10^{-5} x^3 + 0.0023x^2 - 0.0486x + 0.6389. \quad (4.46)$$

Достовірність апроксимації інтерполяційного полінома визначена коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0.9827$.

Експериментальні дослідження впливу ступеня стиснення мезги і її коефіцієнта пористості при температурі жаріння 90°C і вологості 6,55% дозволили описати обидва процеси поліномами четвертого ступеня. Конфіденційність апроксимації інтерпольованих поліномів склала відповідно 0,9967 і 0,998. Однак, зворотні залежності були виражені рівняннями регресії

шостого ступеня. Квадратні коефіцієнти регресії становили відповідно 0,9861 і 0,9827. При визначенні часу руху частинок м'ятки по лопатці і швидкості її сходження з лопатки мішалки радіусом 0,5 м отримані відповідно рівняння регресії третього і другого ступеня. Коефіцієнти регресії склали відповідно 0,997 і 0,99.

4.5. Дослідження процесу фільтрації рицинової олії через шар мезги в пресі

При кожному ступені стиснення відбиралася віджата олія, визначалася її маса і об'єм в см^3 . За об'ємом відфільтрованої олії, часу витримки при кожному ступені стиснення і площі фільтрації визначалася швидкість фільтрації олії. На підставі отриманих даних побудовані графіки залежностей кількості відфільтрованої олії через шар мезги (рис. 4.21).

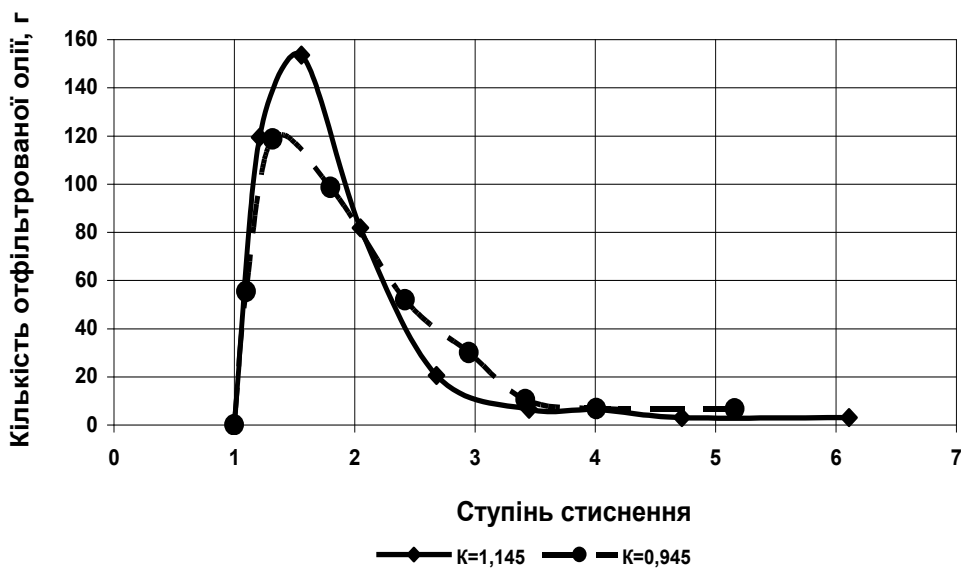


Рис. 4.22. Залежність кількості відфільтрованої рицинової олії через шар мезги від ступеня її стиснення в лабораторному пресі при показниках ступеня $K = 1.145$ і $K = 0.946$

За експериментальними даними кількості відфільтрованої рицинової олії через шар мезги при різному ступені її стиснення, при відомій площі фільтрації на лабораторному пресі, побудовані криві залежностей олійності мезги від

ступеня її стиснення при різних геометричних параметрах гвинтового валу (рис. 4.23).

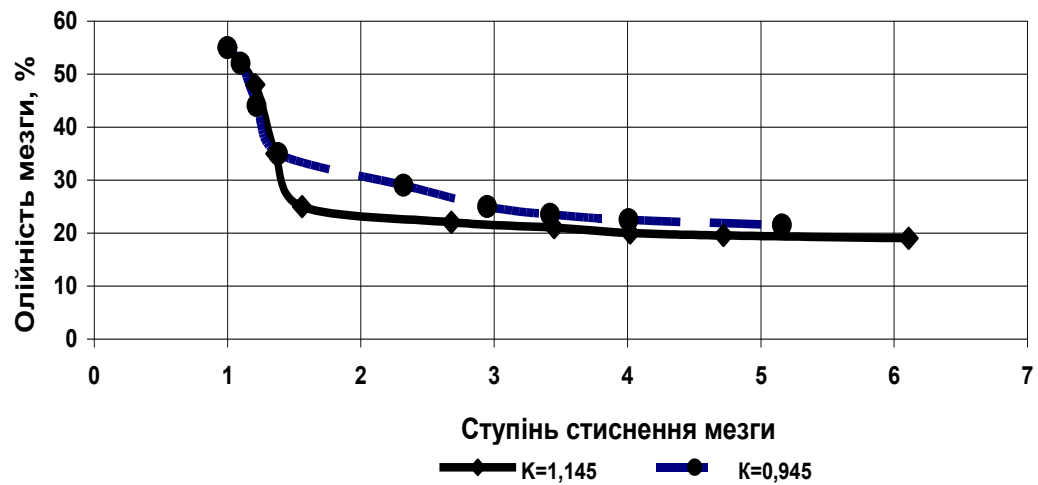


Рис. 4.23. Вплив ступеня стиснення на олійність мезги на абсолютно суху речовину при різному законі стиснення гвинтового валу

За результатами розрахунків ступінь стиснення на витках преса ФП в залежності від ширини вихідної щілини і отриманих експериментально на лабораторному пресі радіальних коефіцієнтів фільтрації, визначалися радіальні коефіцієнти фільтрації по довжині гвинтового валу (рис. 4.24).

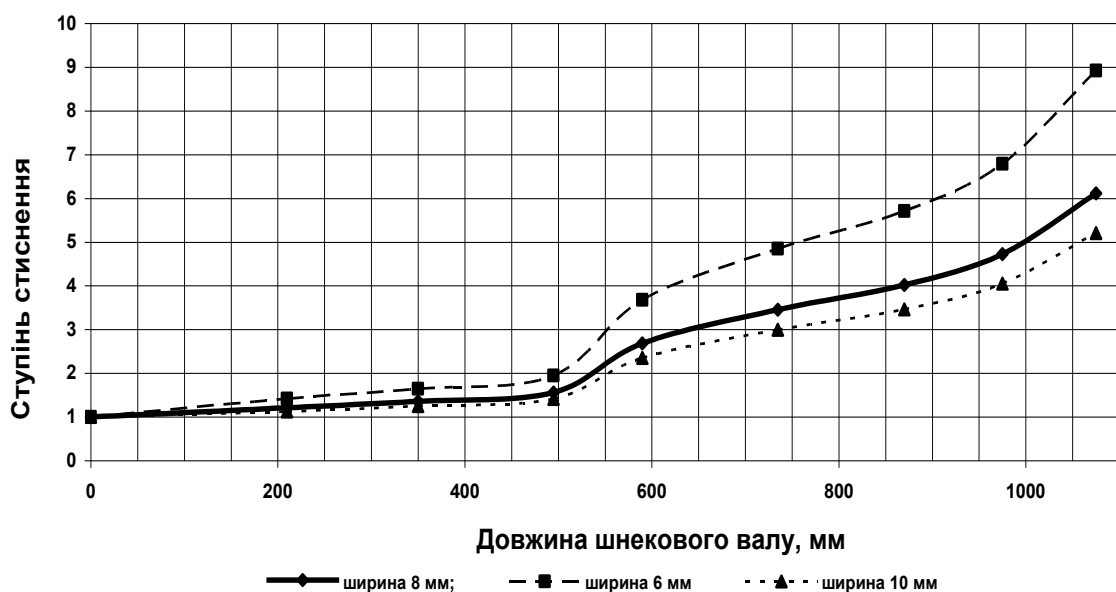


Рис. 4.24. Ступінь стиснення мезги на витках гвинтового преса при різних ширині вихідної щілини

На рис. 4.25 графічно представлено порівняння результатів теоретичних і експериментальних досліджень фільтрації олії по довжині гвинтового валу.

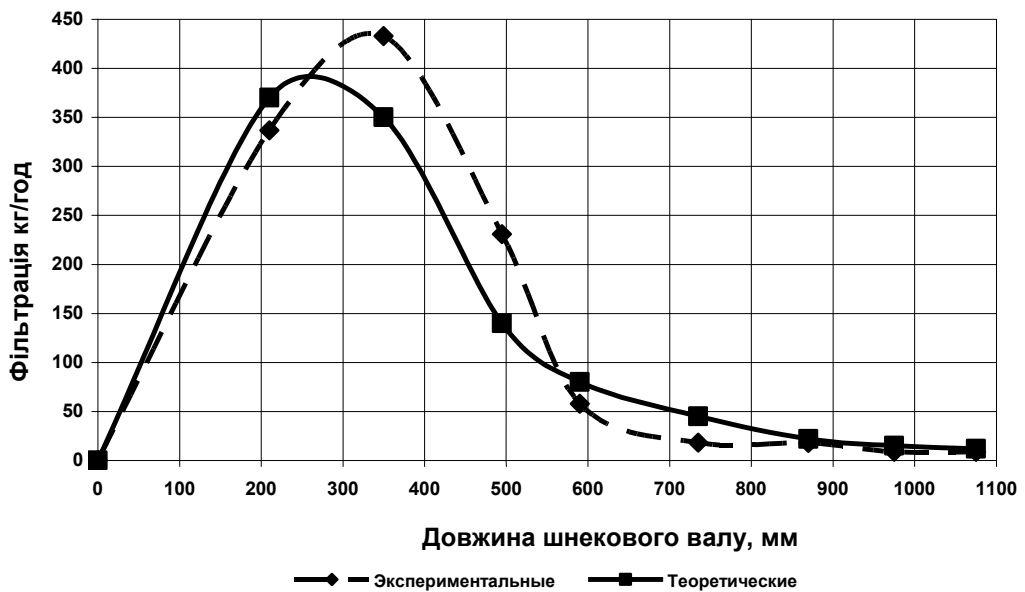


Рис. 4.25. Порівняння результатів теоретичних і експериментальних досліджень фільтрації олії по довжині гвинтового вала преса ФП

Експериментальну залежність кількості відфільтрованої олії по довжині зеєра в гвинтовому пресі (рис. 4.26) визначили на основі лабораторних досліджень за розробленої і представленої методики.

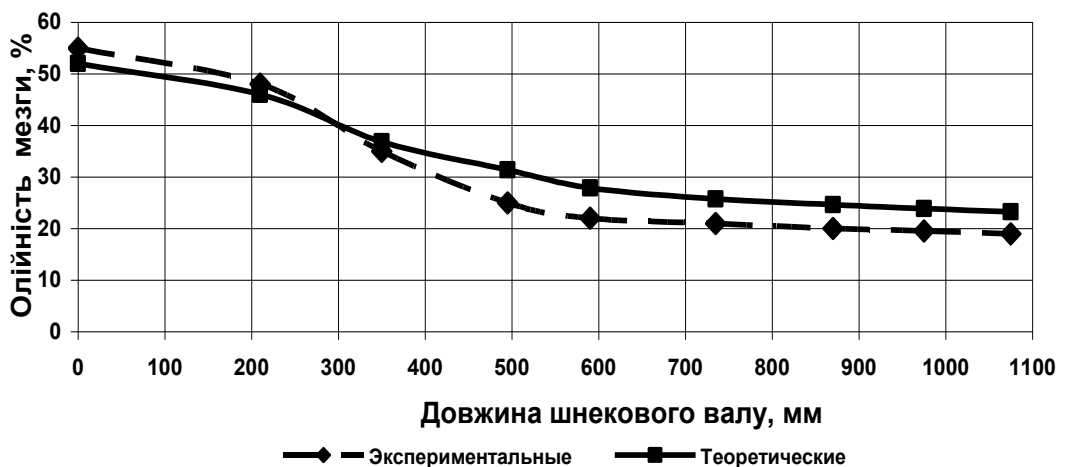


Рис. 4.26. Порівняння результатів теоретичних і експериментальних досліджень зміни олійності мезги насіння ріцини по довжині вала гвинтового преса ФП, % на абсолютно суху речовину

Олійність мезги по довжині гвинтового преса визначили за даними фільтрації олії за рівнянням (4.25).

Результати отримані при продуктивності преса 2,5 т / год і вихідній олійності насіння 55% на абсолютно суху речовину. Відносна похибка теоретичних результатів не перевищує 19,3%.

Порівняння результати теоретичних і експериментальних досліджень зміни олійності мезги насіння рицини по довжині вала гвинтового преса ФП представлені на рис. 4.26. Відносна похибка теоретичних результатів не перевищує 18,6%.

4.6. Результати експериментальних досліджень процесу віджиму і фільтрації рицинової олії в гвинтовому пресі

Експериментальні дослідження проводилися відповідно з програмою і методикою експериментальної перевірки адекватності математичних моделей процесів віджиму і фільтрації рицинової олії через шар мезги в пресі.

Для проведення експериментів і числового дослідження процесів, що відбуваються в форпресі за розробленою математичною моделлю, необхідно було вивчити характеристику преса ФП.

В.А. Масликов [239] наводить дані, що закон стиснення мезги в гвинтовому валі форпресу ФП можна описати ступеневою функцією

$$\varepsilon_{ш.в.} = \frac{V_1}{V_n} = n^{1,145} \quad (4.47)$$

У таблиці 4.10 наведені результати розрахунку основних параметрів гвинтового вала преса ФП, в тому числі ступінь стиснення витків гвинтового валу.

Таблиця 4.10

Параметри гвинтового валу преса ФП

Найменування параметрів	Номера витків шнека							
	–	250	250	200	200	220	220	240
D_3 – діаметр зеєра, мм	–	250	250	200	200	220	220	240
$D_{ш}$ – діаметр шнека, мм	247	247	247	197	197	217	217	237
d_b – діаметр втулки шнека, мм	122	122	122	122	134	176	184	204
S – крок шнека, мм	290	235	155	130	115	110	100	84
$l_{ш}$ – довжина шнека, мм	230	180	140	115	95	100	100	70
l_b – довжина втулки проміжної, мм	30	30	30	30	45	35	35	30
d_1 – вхідний діаметр втулки, мм	122	122	122	122	134	176	184	204
d_2 – вихідний діаметр втулки, мм	122	122	122	134	176	184	204	207
α – кут нахилу нитки витка до торця, рад	0,357	0,294	0,19	0,20	0,18	0,16	0,14	0,112
β – кут нахилу передньої грані витка, рад	0,079	0,079	0,063	0,106	0,095	0,097	0,120	0,120
θ – робочий кут витка, рад; $\theta = 2\pi l_{ш} / S$.	4,980	4,810	5,67	5,55	5,18	5,70	6,28	5,233
$V_3 = \frac{\pi D_3^3 l_{ш}}{4}$ – об'єм зеєрної камери, дм ³	11,28	8,831	6,86	3,61	2,98	3,79	3,79	3,165
$V_b = \frac{\pi d_b^3 l_{ш}}{4}$ – об'єм втулки вала, дм ³	2,687	2,103	1,63	1,34	1,33	2,43	2,65	2,286
$D_{cp} = \frac{d_b + D_{ш}}{2}$ – середній діаметр витка, мм	184,5	184,5	184,	159,	165,	196,	200,	220,5
$l_{cp} = \pi D_{cp}$ – довжина кола при середньому діаметрі витка, мм	579,3	579,3	579,	500,	519,	617,	629,	692,3
$l = \sqrt{S^2 + l_{cp}^2}$ – загальна довжина нитки, мм	647,8	625,1	599,7	517,	532,	626,	635,	697,4
$L = l \cdot \theta / 6,28$ – діюча довжина нитки, мм	513,8	478,8	541,	457,	439,	569,	635,	581,1
$F = (a + b)h / 2$ – площа перетину нитки, яка розглядається приблизно як трапеція, дм ²	0,168	0,156	0,12	0,06	0,05	0,03	0,02	0,028
$V_n = L \cdot F$ – об'єм нитки, дм ³	0,867	0,748	0,66	0,30	0,23	0,19	0,17	0,163
$V_{вн} = V_b + V_n$ – об'єм який займає виток, дм ³	3,554	2,851	2,29	1,65	1,57	2,63	2,83	2,449
$V_n = V_3 - V_{вн}$ – вільний об'єм, дм ³	7,73	5,979	4,57	1,95	1,40	1,16	0,96	0,715
$\varepsilon_n = V_1 / V_n$ – ступінь стиснення гвинтового валу	1	1,292	1,69	3,94	5,48	6,61	8,02	10,80
$\varepsilon_k = V_{k-1} / V_k$ – ступінь стиснення k -го витка	1	1,292	1,29	2,33	1,39	1,20	1,21	1,347
$\psi = V_3 / V_{вн}$ – коефіцієнт заповнення зеєрної камери	0,315	0,322	0,33	0,45	0,52	0,69	0,74	0,774

У таблиці 4.11 наведено параметри стиснення преса ФП.

Таблиця 4.11

Параметри стиснення преса ФП

δ	k	$\varepsilon_{\text{пр}}^T$	$\varepsilon_{\text{пр}}^{\Phi}$	ν
6	2,224189	24,03592	8,9200424	2,908560186
7	1,951043	21,08414	7,1820158	3,248801143
8	1,741701	18,82187	6,1128139	3,485726324
9	1,575774	17,02876	5,4986972	3,562978188
10	1,440788	15,57002	5,2089194	3,461700882
11	1,328668	14,35838	5,1588286	3,212053509
12	1,233946	13,33476	5,2911172	2,874486859

Отримана ступінь стиснення на гвинтовому валі (таблиця 4.12), дозволила перевірити ступінь точності запропонованої функції.

На рис. 4.26 представлені залежності стиснення мезги в пресі ФП, отримані трьома шляхами:

- 1 - на основі геометричних параметрів витків вала преса,
- 2 - за формулою (4.42),
- 3 - на підставі проведеної нами статистичної обробки геометричних параметрів.

Для подальших досліджень використовували ступінь стиснення у витках преса, отримані на основі фактичних параметрів преса ФП. Так, за розрахунками, ступінь стиснення мезги на гвинтовому валу склала 10,80.

Однак слід враховувати такі обставини. При роботі, всередині зеєра виникають два потоки: один - вимушений потік, викликаний обертанням гвинтового валу і спрямований уздовж гвинтового каналу; другий - протитечія, що викликається градієнтом тиску, що з'явився в результаті протитиску мезги, що виходить з преса.

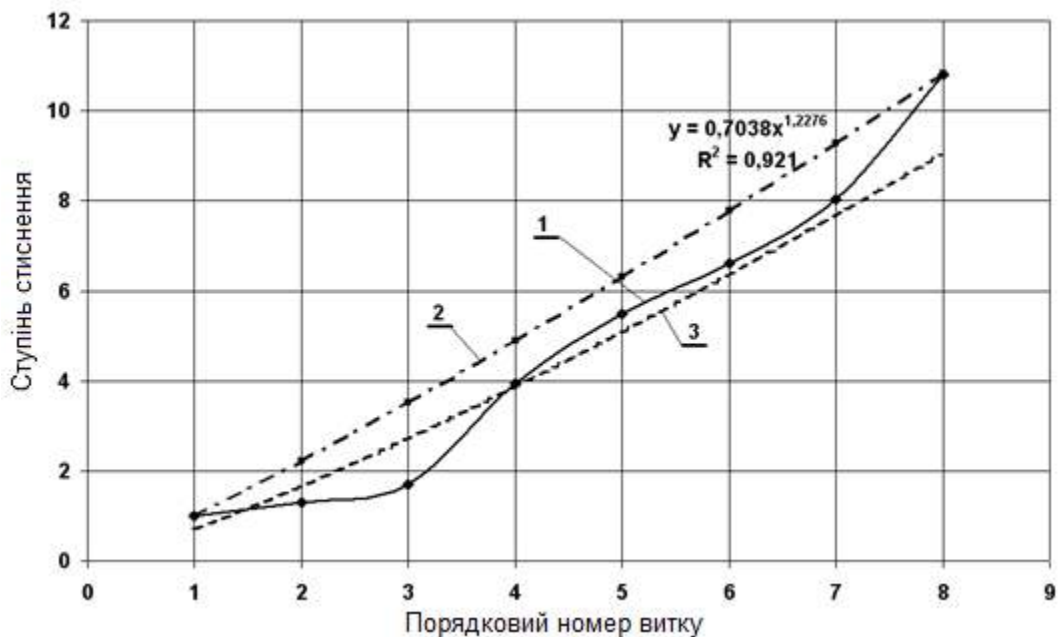


Рис. 4.27. Залежність ступеня стиснення мезги в гвинтовому валу преса ФП: 1 - отримана на основі геометричних параметрів витків вала; 2 - отримана на підставі залежності, 3 - лінія тренда кривої 1

Другий потік може бути розділений на декілька потоків: протитечія вздовж гвинтового каналу; протитечія в зазорі між вершиною нитки і внутрішньою поверхнею зеєра; протитечія в куту розриву нитки витка. Тому дійсний ступінь стиснення мезги при роботі преса суттєво відрізняється від розрахункового, отриманого відповідно до геометричних параметрів гвинтового вала. У нашій задачі ми брали кількість профільованої олії пропорційно зміні коефіцієнта пористості мезги на кожному витку преса, що залежить в свою чергу від ступеня стиснення мезги в кожному витку преса. Визначення дійсного ступеня стиснення, а звідси і зміни коефіцієнта пористості, є важливим етапом в цьому завданні.

Визначаємо теоретичний $\varepsilon_{\text{пр}}^{\text{T}}$ і фактичний ступінь стиснення преса $\varepsilon_{\text{пр}}^{\text{Ф}}$ з урахуванням противотока за розробленою методикою. Результати розрахунків теоретичного і фактичного ступенів стиснення мезги в пресі представлені в таблиці 4.12. Де δ – ширина вихідної щілини (в мм) при якій працює прес; k –

деякий коефіцієнт, величина якого залежить від ширини вихідної щілини преса;
 ν – відношення теоретичного до практичного ступеня стиснення мезги на конусі преса при робочій ширині вихідної щілини.

Результати розрахунку фактичного ступеня стиснення на витках преса ФП в залежності від ширини вихідної щілини преса представлені в таблиці 4.12, де $\varepsilon_{\text{ш.в.}}$ – ступінь стиснення мезги, що створюється шнековим валом.

Таблиця 4.12

Параметри фактичного ступеня стиснення мезги на витках преса ФП

№ пресуюч. витка	Довж. шнеков вала	$\varepsilon_{\text{ш.в.}}$	δ – ширина вихідної щілини, мм						
			6	7	8	9	10	11	12
			Фактичний ступінь стиснення на пресуючому витку шнека						
1	210	1	1,42	1,29	1,21	1,16	1,12	1,10	1,08
2	350	1,2927	1,64	1,47	1,36	1,29	1,25	1,22	1,20
3	495	1,6904	1,94	1,71	1,56	1,47	1,41	1,38	1,37
4	590	3,9471	3,67	3,06	2,68	2,46	2,35	2,32	2,34
5	735	5,4862	4,85	3,99	3,45	3,14	2,99	2,95	3,00
6	870	6,6111	5,71	4,66	4,02	3,64	3,46	3,42	3,49
7	975	8,0225	6,79	5,51	4,72	4,27	4,05	4,01	4,09
8	1075	10,8066	8,92	7,18	6,11	5,50	5,21	5,16	5,29

Розрахунки показали, що ступінь стиснення в витках гвинтового вала преса ФП по вільному об'єму витків змінюється від 1 до 10,8 (табл. 4.12). Фактична ступінь стиснення мезги на витках при ширині вихідної щілини 6мм змінюється від 1,42 до 8,9 (табл. 4.12); при ширині щілини 8 мм від 1,21 до 6,11, а при ширині щілини 12 мм від 1 до 5,29. За основу подальших розрахунків прийнята ширина вихідної щілини 8 мм, тобто при ступені стиснення мезги не вище 6.11.

У таблиці 4.13 представлені геометричні параметри гвинтового преса ФП,

необхідні для розрахунку його фільтраційних можливостей при переробці насіння рицини.

Для замикання вихідної системи рівнянь математичної моделі консолідації мезги насіння рицини в гвинтових пресах, експериментальним шляхом були встановлені необхідні характеристики мезги рицини.

Таблиця 4.13

Геометричні параметри гвинтового преса ФП

n	D, см	L, см	ω , см ²	r, см
2	24,7	21	1628,718	6,25
3	24,7	14	1085,812	6,25
4	19,7	14,5	896,941	3,75
5	19,7	9,5	587,651	3,15
6	21,7	14,5	988,001	2,05
7	21,7	13,5	919,863	1,65
8	23,7	10,5	781,389	1,65
9	24	10	753,6	1,5
10	21,6	5	339,12	1,05

Всі наведені нижче експерименти проводилися з мезгою насіння рицини, що знаходиться при температурі жаріння 90 ° С і подальшому пресуванні і вологістю 6,55%.

4.7. Перевірка адекватності математичної моделі процесу очищення рицинової олії

Для перевірки математичної моделі процесу очищення рицинової олії в електричному полі було побудовано графічні залежності вмісту води в олії від часу, при напругах на електродах: 3кВ, 3,5 кВ, 4кВ, 4,5 кВ, 5 кВ, що відповідають

швидкостям осадження на електроді 0,3 мм/с, 0,38 мм/с, 0,5 мм/с, 0,63 мм/с, 0,8 мм/с відповідно графіку та порівняно з експериментальними даними.

Побудовані для об'єму рідини 10^{-3} м³, радіус електродів 10^{-3} м, довжини електродів 1 м, та початкового вмісту води 2%.

На рис. 4.27 та рис. 4.28 представлено отримані експериментальні залежності, а на рис. 6.34 показано динаміку зміни прозорості олії в залежності від часу витримки її в електрофлотаційній камері.

Ступінь очищення рицинової олії від гідратованих фосфатидів та механічних домішок розраховано за формулою:

$$C_{оч.} = \frac{(X_1 - X_2)}{X_1} \quad (4.47)$$

де X_1 – масовий вміст частинок гідратованих фосфатидів та механічних домішок в суспензії до очищення, %;

X_2 – масовий вміст частинок гідратованих фосфатидів та механічних домішок в суспензії після очищення, %.

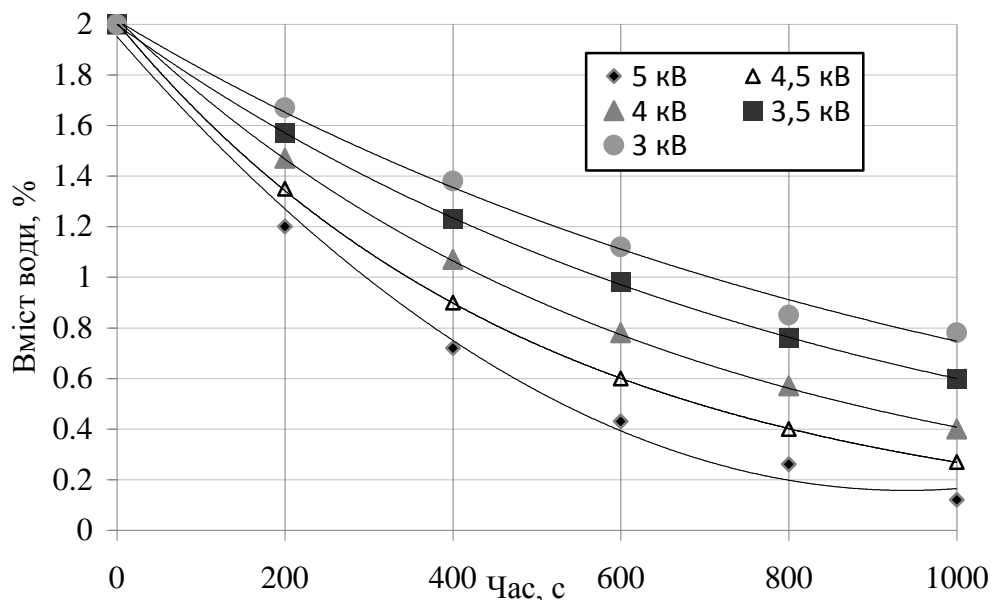


Рис. 4.28. Експериментальні залежності вмісту води від часу при різних напругах на електродах

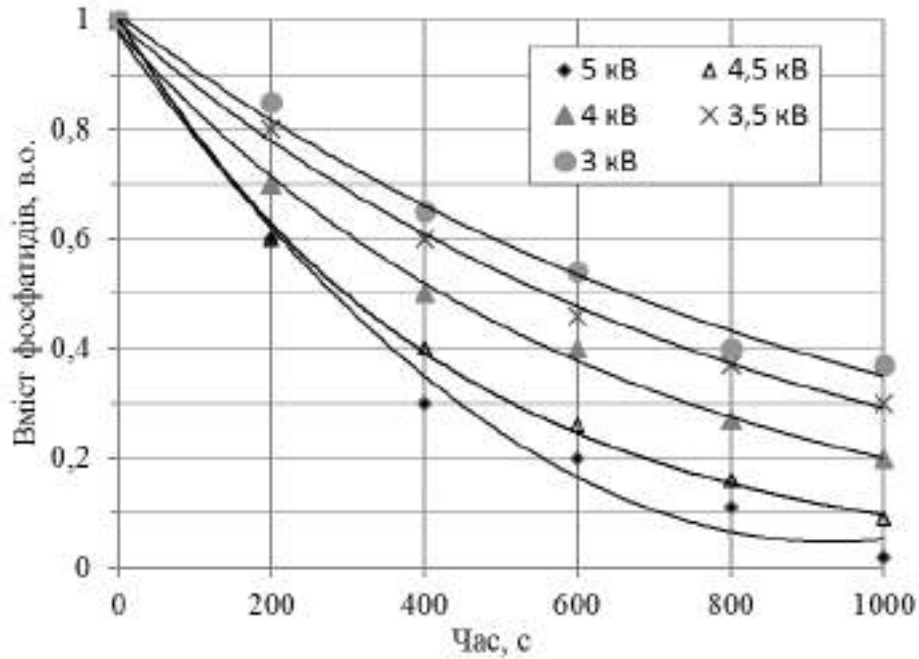


Рис. 4.29. Експериментальні залежності вмісту фосфатидів та механічних домішок від часу при різних напругах на електродах

Розрахунок показав, що запропонований спосіб забезпечує ступінь очищення рицинової олії від гідратованих фосфатидів та механічних домішок за час 1000 с при напрузі на електродах 5 кВ на рівні 97%.



Рис. 4.30 Прозорість очищеної рицинової олії в залежності від часу витримки 1 – віджата олія; 2 – гідратована віджата олія; 3,4,5 – олія після витримки в електрофлотаційній камері відповідно 300 с, 600 с та 1000 с

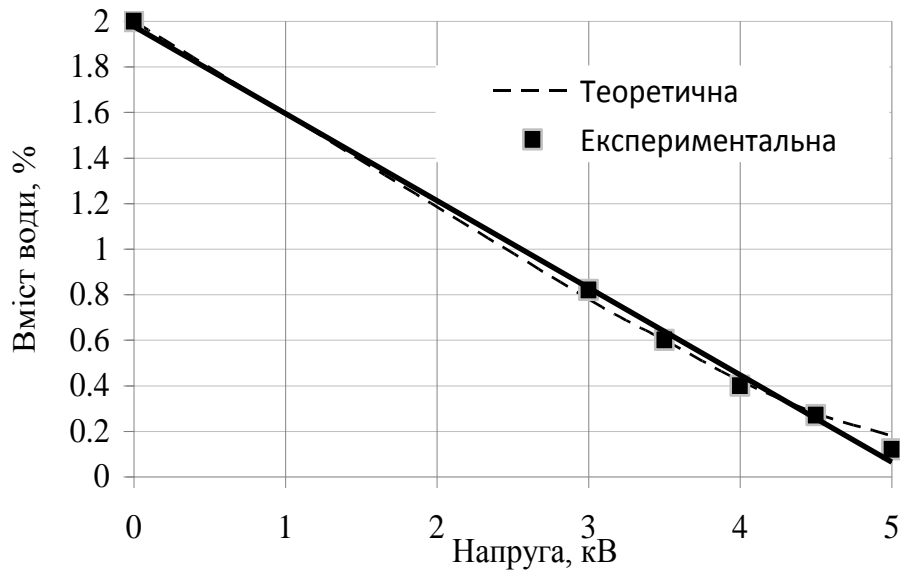


Рис. 4.31. Теоретична та експериментальна залежності вмісту води від напруги на електродах за час 1000 с

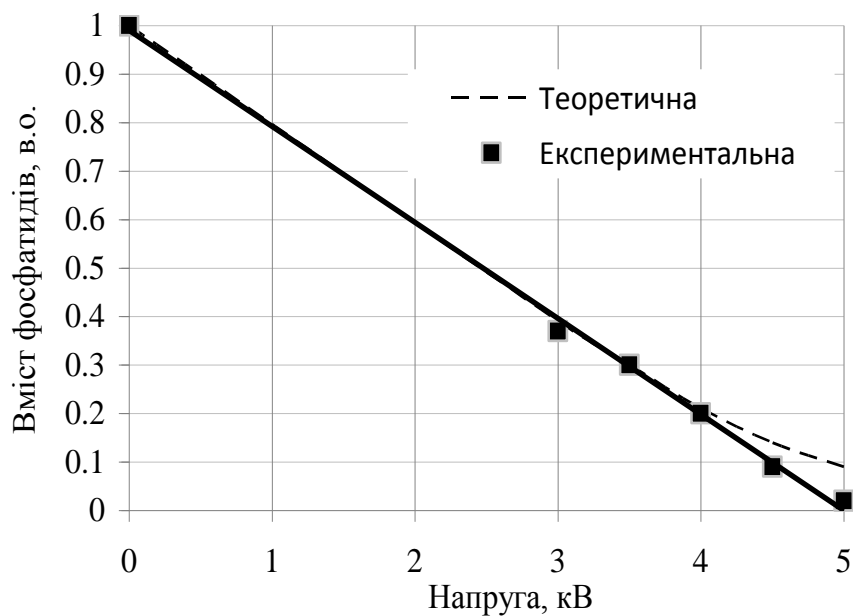


Рис. 4.32 . Теоретична та експериментальна залежності вмісту фосфатидів та механічних домішок від напруги на електродах за час 1000 с

Порівняння теоретичних та експериментальних залежностей наведених на рис. 4.31 та 4.32 підтверджують адекватність математичної моделі гідродинаміки фосфатидів та механічних домішок під дією електричного поля у між електродному просторі.

Висновки до розділу 4

1. Встановлено основні фізико-механічні, фізіологічні, технологічні та теплофізичні властивості насіння рицини, які є вихідними при виборі технологічної схеми і обладнання для переробки рицини в умовах малотоннажного виробництва.

2. Встановлено основні термодинамічні характеристики елементів насіння рицини. Визначені експериментальні залежності потенціалу вологопереносу, питомої вологотермічної масоємності ядра, оболонки, рушанки насіння рицини та їх вологовмісту у вигляді графіків та рівнянь регресії першого ступеня. Отримані залежності використані при розробці та числовому дослідженні математичних моделей процесу жаріння м'ятки насіння рицини.

3. Визначена енергія зв'язку вологи з елементами насіння рицини: ядром та лушпинням (оболонкою). Діапазон значень вологовмісту ядра насіння рицини складає від 0,045 кг/кг до 0,015 кг/кг, а вологовміст оболонки змінюється в широкому діапазоні від 0,12 кг/кг до нуля, то суміш ядра і оболонки насіння рицини по закону адитивності визначити неможливо. Ці обставини накладують додаткові вимоги при пуско-налагоджених роботах проводити досліди по оцінці енергії зв'язку реальної суміші рушанки.

4. В результаті виконаного повнофакторного експерименту процесу волого-теплової обробки м'ятки насіння рицини визначено наступні оптимальні параметри:

- кінцева вологість мезги для періоду зволоження $W_{кз} = 9,144\% \dots 10,662\%$.

- кінцева вологість мезги для періоду сушіння $W_{кс} = 5,72\% \dots 6,68\%$.
Тиск пари $P_{гр} = 0,371 \dots 0,4,42$ МПа.

5. Експериментальними дослідженнями доведено, що математична модель консолідації мезги насіння рицини в гвинтових пресах адекватна опису закономірності впливу його конструкційних та режимних параметрів на кількість віджатої олії. Так, відносна похибка теоретичних результатів при продуктивності преса 4500 т/год і олійності насіння 55% на абсолютно суху речовину, не

перевищує 1,93 %, а зміна олійності мезги по довжині гвинтового вала не перевищує 1,86 %.

6. Експериментальними дослідженнями доведено, що запропонований спосіб очищення віджатої рицинової олії методом електрофлотації забезпечує ступінь очищення гідратованих фосфатидів та механічних домішок за час 1000с при напрузі на електродах 5кВ на рівні 97%, а порівняння теоретичних та експериментальних залежностей підтверджують адекватність математичної моделі гідродинаміки фосфатидів та механічних домішок. Максимальне відхилення теоретичних величин від експериментальних не перевищує 7%.

7. Визначено комплексні показники ефективності технологічних процесів переробки рицини. При проведенні серії експериментів з початковою вологістю м'ятки від 11.8 до 15.1% і тиску зарубашечної пари 0,4 МПа критерій відносної кількості масла змінювався від 0.982 до 1.002. Максимальне значення критерію склало 1.032 при початковій вологості м'ятки 13,5%. Вихід масла склав 86,4% від вихідного, олійність макухи 16,1%, що є кращим результатом з відомих нам даних. Час жаріння склав 60 хв. Якість отриманої рицинової олії підтверджує факт про чистоту рослинних олій, отриманих при початковій високій вологості.

8. Визначено залежності питомого тиску від ступеня стиснення і від коефіцієнта пористості: при збільшенні ступеня стиснення від 1 до 6.2 і зменшення коефіцієнта пористості від 0.56 до 0.02 питомий тиск мезги в гвинтовому форпресі підвищується від 0 до 137 кг/см².

9. Встановлено, що при показнику ступеня вільного об'єму витка 1,145 преса зі зміною ступеня стиснення мезги з 1 до 6,2 олійність мезги знижується з 55% до 18.8%. При показнику ступеня вільного об'єму витка 0,945 і тому ж ступені стиснення олійність мезги знижується тільки з 55 до 22%.

10. Встановлено, що при порівнянні теоретичних та експериментальних досліджень фільтрації олії по довжині гвинтового вала преса максимальна розбіжність склала 1,86%, при зміні олійності мезги по довжині шнека від 5,35% до 17,4%.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ГЛИБОКОЇ ПЕРЕРОБКИ РИЦИНИ НА МАЛОТОННАЖНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

5.1. Класифікація способів і засобів переробки насіння рицини

Для умов півдня України і країн причорномор'я, як зазначалося раніше кращою технологією глибокої переробки рицини є дворазове пресування стосовно малотоннажного виробництва продуктивністю 15-30 т. на добу по вихідній сировині. Структурна схема виробництва пресової олії для умов малотоннажного виробництва приведена на рис. 5.1 [8].

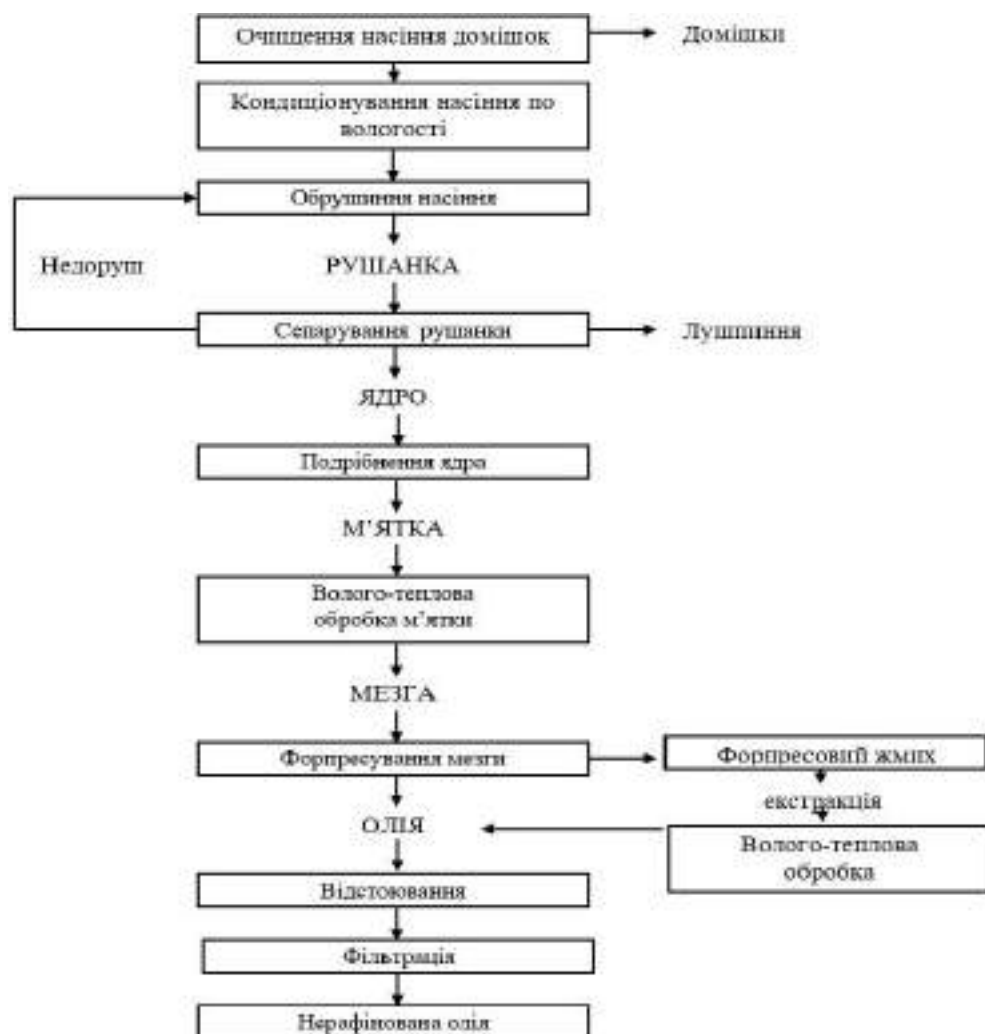


Рис. 5.1. Структурна схема виробництва пресової олії

Устаткування для очищення та зберігання рицини.

Очищення насіння від домішок виробляють на очисних машинах - сепараторах, аспіраторах, каменевідбірниках, використовуючи такі методи:

- поділ насінневої маси за розмірами шляхом просіювання через сито з отворами різних розмірів і форми. При просіюванні отримують дві фракції: прохід (частина, що проходить через отвори) і схід (частина, що залишилася на ситі);
- поділ насінневої маси по аеродинамічних властивостях шляхом продувки шару насіння повітрям;
- поділ металодомішок і насіння по феромагнітним властивостями.

Для зменшення вологості насіння застосовують метод сушіння в промислових сушарках шахтного, барабанного типів і сушарки з киплячим шаром, а також метод активного вентилявання в сховищах, обладнаних пристроями для підведення і розподілу повітря по насінневій масі. Зберігання насіння переслідує мету збереження його від псування для отримання при переробці продуктів високої якості з мінімальними втратами, поліпшення якості насіння для їх більш ефективної переробки.

Устаткування для підготовки насіння до вилучення олії.

Ця підготовка передбачає очистку насіння від домішок, калібрування насіння за розмірами, кондиціонування насіння за вологістю, аналогічні відповідним операціям перед закладкою насіння на зберігання; обрушення насіння; поділ рушанки на фракції; подрібнення ядра.

Обрушення (луцення) - руйнування оболонки насіння виробляють різними способами: розколюванням оболонки ударом; стисненням оболонки; розрізанням оболонки; обдиранням оболонки.

Тому робочі органи машин для луцення різні:

- для удару насіння об металеві поверхні (для очистки і відцентрування насіннярушки), наприклад насіннярушка бичевого типу МРН, обрушується елементами якої є колосники з хвилястою поверхнею - деки;
- з ріжучими сталевими робочими органами (дискові типу АС-900, ножові і вальцьові шелушилки);

- з гладкими або рифленими металевими поверхнями для роздавлювання.

Недоліком цих робочих органів є часткове руйнування ядра, поява січки й олійного пилу. Більш сучасна модель - відцентрова обрушувальна машина РЗ-МОС, перевагою якої є орієнтування насіння довгою віссю в момент удару об деку. При такому ударі все навантаження сприймає лушпиння, ядро майже не дробиться, в той час як при ударі плазом сильно дробиться і ядро, втрати олії з лушпинням збільшуються. Із сучасних напрямків обрушення насіння найбільший інтерес представляють наступні методи:

1) аеродинамічний, суть якого полягає в тому, що насіння, що надходять в апарат, підхоплюються стисненим повітрям, яке подається через сопло, потім насіння викидається через трубу в розгрузчик; обрушення відбувається під дією декількох факторів: стираючої дії самого струменя, сил інерції, надлишкового тиску в самому насінні;

2) створення надлишкового тиску всередині насіння; метод використовується в декількох варіантах: - в електромагнітному полі надзвуковий частоти, під дією якого волога з ядра випаровується практично миттєво, пари концентруються в просторі між ядром і оболонкою, тиск всередині насіння підвищується, оболонка руйнується; - багаторазовою зміною тиску (в герметичній камері насіння піддається пульсуючій дії високого тиску, в результаті чого з'являються втомні явища в насінні, що викликає руйнування оболонки); - одноразовим скиданням тиску (насіння поміщається в апарат з підвищеним тиском і після швидкої розгерметизації потрапляє в приймач з атмосферним тиском; за рахунок миттєвого перепаду тиску всередині і зовні насіння відбувається руйнування оболонки).

Загальна цінність цих апаратів, робота яких побудована на таких методах, в тому, що не відбувається значного руйнування ядра, незначна кількість січки й олійного пилу. Недоліки: дороге технічне втілення і великі витрати на експлуатацію та електроенергію.

Подрібнення ядра. Для подрібнення ядра і насіння використовують однопарні, двупарні і п'ятивалкові верстати з рифленими і гладкими

поверхнями. В результаті отримують сипучу масу м'ятку. При пелюстковому помолі на двопарному плющильному вальцюванні і двопарному плющильно-вальцьовому верстаті ФВ-600 отримують пелюстки - пластинки сплющеної макухи товщиною менше 1 мм.

Вилучення олії. Для ефективного вилучення олії з м'ятки проводять вологотеплову обробку при безперервному і ретельному перемішуванні. У виробничих умовах процес вологотеплової обробки складається з двох етапів:

- перший етап - зволоження м'ятки і підігрів в апаратах для попередньої вологотеплової обробки м'ятки - інактиваторах або пропарювальних зволожувальних шнеках. М'ятку нагрівають до температури 80 - 85 ° С з одночасним зволоженням водою або гострою парою. При цьому відбувається виборче змочування і зменшення енергії зв'язку олії з неліпідною частиною насіння на поверхні м'ятки.

- другий етап - висушування і нагрівання зволоженої м'ятки в жаровнях різних конструкцій. Матеріал, що отримується в результаті висушування має назву мезги. Попереднє віджимання олії має назву форпресування. Для пресування застосовують преси різних конструкцій. Класифікація пресів наведена на рис. 5.2.

Залежно від тиску на пресований матеріал і олійності макухи, що виходить, гвинтові преси ділять на преси попереднього знімання олії - форпрес і преси остаточного знімання олії - експелер. У промисловості використовують форпрес ЕТП-20, ФР, Г- 24. Остаточний віджим олії - експелювання здійснюється в більш жорстких умовах, в результаті чого вміст олії в макусі знижується до 4 - 7%. Однак ці цифри не можуть бути задовільними. Для їх зменшення потрібне істотне вдосконалення конструкцій і технологічних режимів основних апаратів, технологічної схеми переробки рицини.

Проведений аналіз літературних джерел, патентних матеріалів і існуючих технологій переробки насіння рицини на рицинову олію й кормову макуху дозволили виявити переваги й недоліки кожної з технологій і обґрунтувати удосконалену технологію й устаткування переробки насіння рицини.

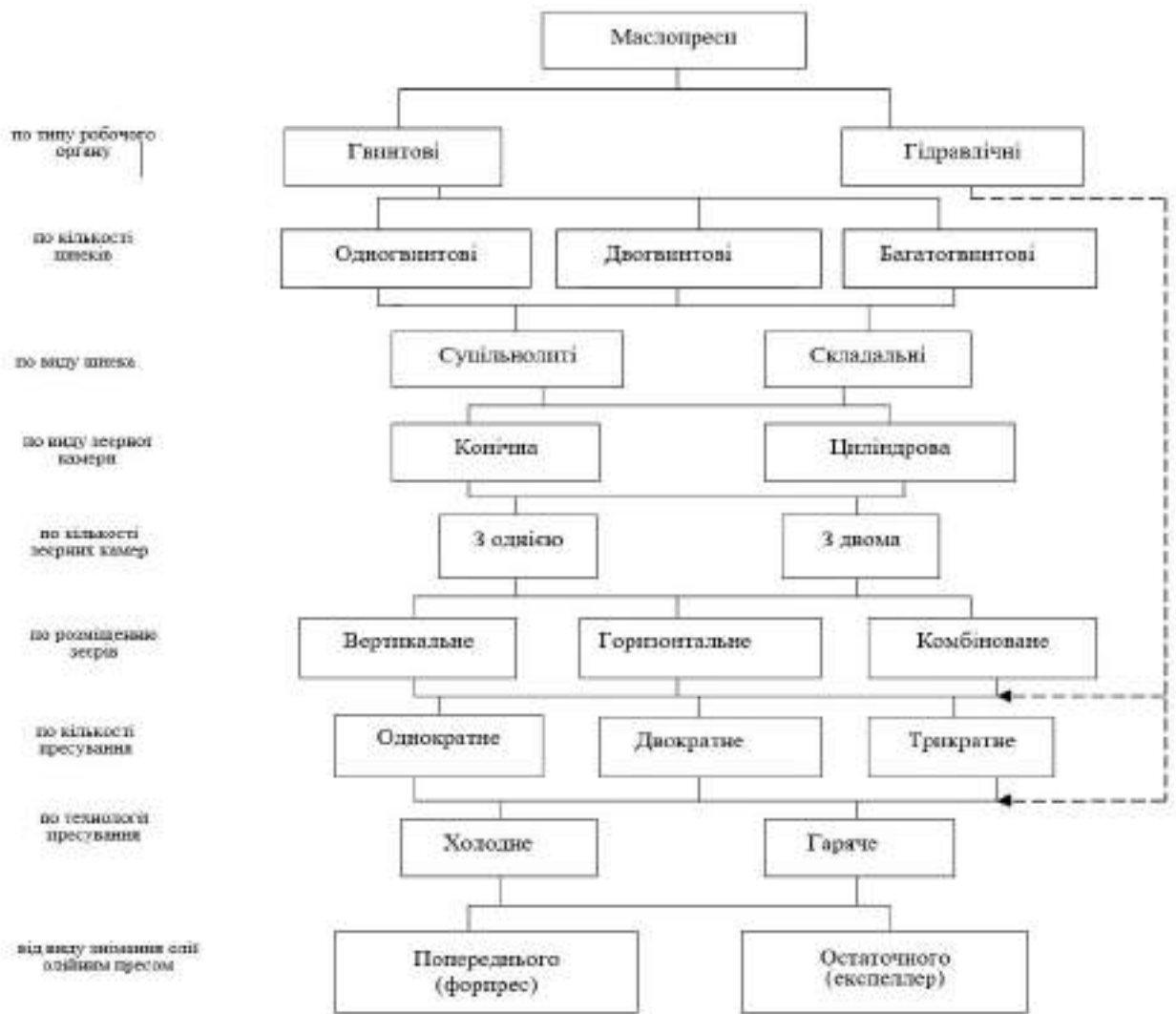


Рис. 5.2. Класифікація олійних пресів [12,43,82]

Усі існуючі технології переробки насіння ріцини можна розділити на два методи витягу олії з насіння: механічне віджимання олії, назване методом пресування, і розчинення олії в легколетких органічних розчинниках, або метод екстракції. Ці два основних метода використовуються в технології виробництва рослинних олій або самотійно, або в сполученні одного з другим.

Сучасні високопродуктивні заводи по переробці насіння ріцини працюють за схемою: попереднє пресування - екстракція й волого-теплова детоксикація ріцинової макухи.

Вивчено досвід переробки насіння ріцини на ріцинову олію за схемою: попереднє пресування - екстракція на заводах Р.Молдови (Бельцький

масложировий комбінат, Атакський олієекстракційний завод) і Росії (Білоріченський олієекстракційний завод, Краснодарський маслозавод №2), а також конструкцію устаткування, яке використовується у світі.

Так з 1968 року в Молдавії була освоєна технологія переробки насіння рицини за схемою форпресування - екстракція. Якщо при переробці пресовим способом загальні втрати олії склали 2,8 %, то вже в перший рік після переходу на екстракційний спосіб вони знизилися до 1,24 %. Однак, продуктивність модернізованих екстракторів НД-1250, широко застосовуваних на наших вітчизняних олієекстракційних заводах складає 500 т на добу по переробці форпресового пелюстка в перерахуванні на насіння соняшника і для малотоннажного виробництва не може бути використано. Оскільки рицинова олія не розчиняється в бензині при температурі 20-25°C, то в перших екстракційних лініях застосовували як розчинник технічний дихлоретан. Надалі за типовою схемою на лінії НД-1250 як розчинник застосовували бензин попередньо підігрітий до температури 60-65° С. При екстракції олії з пелюстка олійної сировини екстрагуються речовини, небажані для використання одержуваного продукту. Тому з'являється необхідність у додатковому очищенні екстракційної олії. Це істотно ускладнює технологію виробництва.

Вивчення технології і конструкції технологічного устаткування, яке використовується фірмами „Alimenta" (Італія) і концерном „Krupp" (Німеччина) для потужних виробництв (32 тис. тони на рік) показало, що на сьогоднішній день використати їх практично не можливо, тому що ціна закупки устаткування для такого заводу складає біля 10 млн. доларів США в цінах 1990 року. Наше техніко-економічне обґрунтування і вивчення світового досвіду показали, що для України найбільш доцільним є шлях поступового створення мережі малотоннажних виробництв (міні-заводів) з добовою продуктивністю приблизно 12 - 15 т по вихідній сировині.

Таке рішення має й інші переваги: легше забезпечити фінансування й будівництво міні-заводу, зменшуються радіуси перевезення. З нарощуванням обсягів вирощування насіння рицини можна створювати мережу міні-заводів.

Відомі існуючі технології переробки насіння рицини методами пресування відбуваються за схемами: форчан-форпрес; однократне пресування; дворазове пресування; форпрес-експелерний прес.

У першій схемі використовують метод А.І. Скипина (1935) - витяг олії із застосуванням високого зволоження м'ятки [7, 8].

Позитивними якостями цього методу є його простота й невелика вартість, можливість одержати 60-70 % олії (від її початкового вмісту) з мінімальною кількістю супутніх речовин - фосфатидів, каротіноїдів, тощо.

Проте, форчанні олії менш стійкі до окислювання порівняно з форпресовою і експелерною, що пояснюється малим умістом у них натуральних антиоксидантів.

Істотним технологічним недоліком способу знежирення методом високого зволоження є також одержання після попереднього витягу олії вологого напівзнежиреного матеріалу з 27-30 % олійності. Остаточний витяг олії з такої маси має потребу в її тривалій тепловій обробці, що супроводжується утворенням вторинних білково-ліпідних з'єднань. До того ж ріст температури на кожні 10°C підвищує швидкість окислювання ліпідів в 2-3 рази [8].

Одним з найбільш вагомих недоліків даного методу є періодичність дії основного апарата - форчана. У розвитку цього методу були створені конструкції апаратів безперервної дії, які являють собою гвинтові системи слабкого віджимання, що вимагає застосування високих температур [9].

Однократне пресування при переробці насіння рицини не дозволяє одержати великого виходу олії й надійної роботи устаткування. Це підтверджується досвідом корпорації „Хортиця”, яка спробувала використати технологію і устаткування для міні-заводу по переробці рицини німецької фірми „Агро - Фебер”.

Технологія й основне устаткування було не пристосоване для переробки насіння рицини. Основними недоліками придбаної за кордоном технології й устаткування слід зазначити такі:

1. Відсутність процесу обрушення насіння і відділення від плодової оболонки, що не дозволяє забезпечити якість олії передбаченою ГОСТ 6757-73 для технічної олії.

2. Процес подрібнення насіння на однопарному вальцьовому верстаті із гладкими вальцями недоопрацьовано, що не тільки не дозволяє транспортувати м'ятку до місця подальшої переробки, але й вивантажити з подрібнюючих вальців. Крім того, вальцьовий верстат розташований далеко від жаровні й одержуване місиво повинне транспортуватися до місця подальшої переробки системою шнеків.

3. Багаточанна жаровня гвинтового преса по площі обігріву глухою парою розрахована на переробку насіння соняшника й не забезпечує сушіння мезги насіння рицини з вхідною вологістю 12-13 %.

4. Передбачене одноступінчасте пресування знижує вихід олії не менш, ніж на 8,3 %.

5. Відсутність детоксикації рицинової макухи, що не тільки не дозволяє використати високобілкову рицинову макуху на корм, але й створює проблему її утилізації.

Всі розглянуті раніше операційні технологічні схеми технології переробки насіння рицини можна розглядати у двох варіантах: з попереднім відділенням лушпиння й без попереднього відділення лушпиння рис. 5.3.

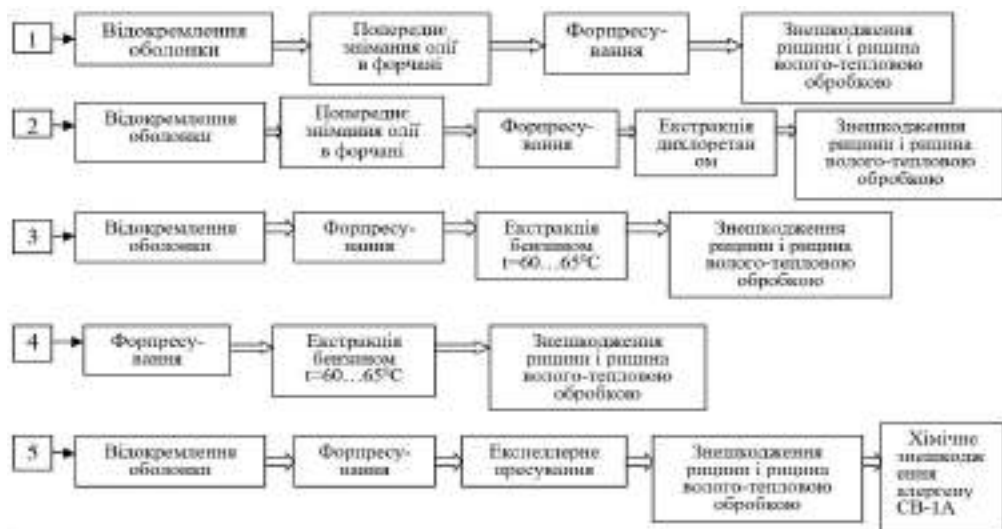


Рис. 5.3. Операційні схеми технології переробки рицини пресуванням

Досвід роботи зі створення малотоннажних підприємств переробки олійних культур, вивчення вітчизняного та зарубіжного досвіду переробки насіння рицини, відпрацювання технології хімічної детоксикації макухи рицини і його випробування на великій рогатій худобі, свинях і курчатах дозволяють рекомендувати удосконалену технологію переробки рицини на міні-заводах. Операційна схема рекомендованої технології приведена на рис. 5.4.

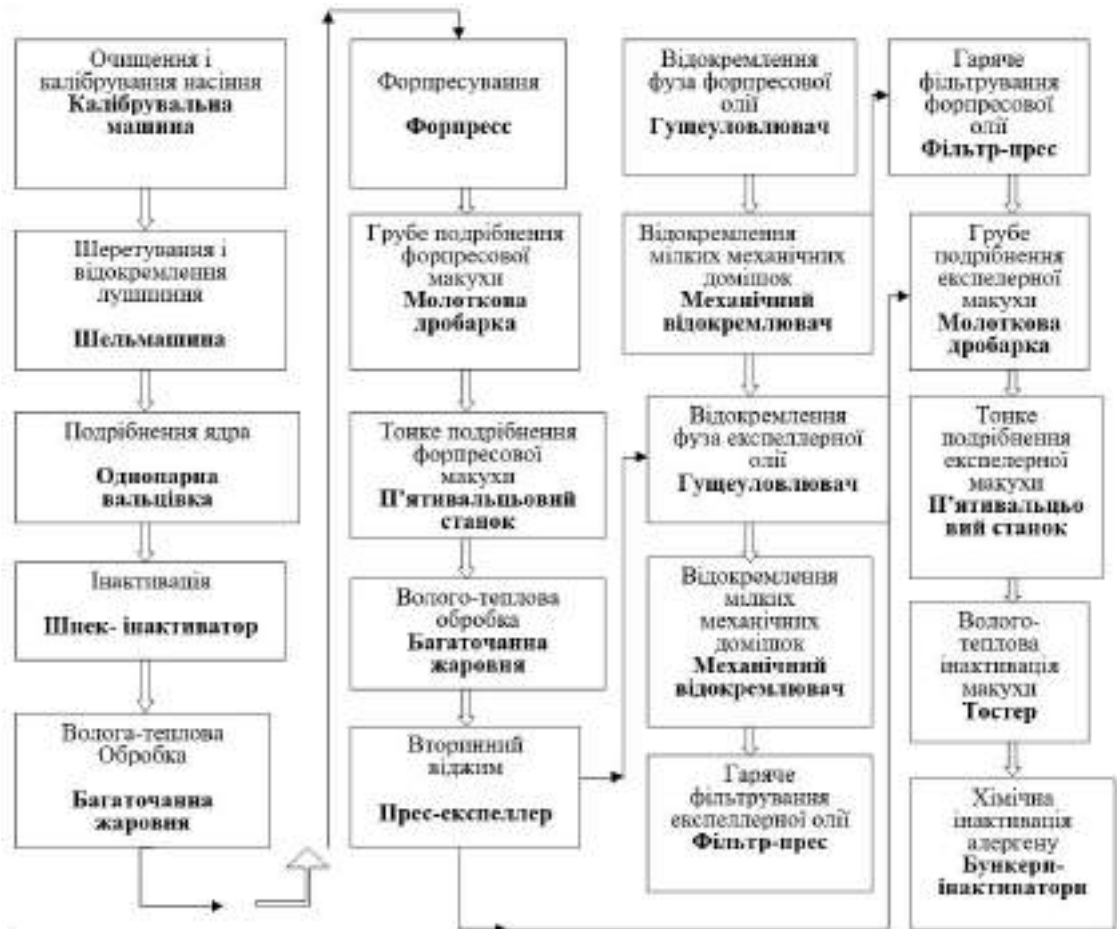


Рис. 5.4. Операційна схема технології переробки насіння рицини дворазовим пресуванням

Приведена операційна схема технології має такі особливості:

- інактивація ферментної системи перед волого-тепловою обробкою;
- двоступінчасте віджимання на форпресі й експелерному пресі із волого-тепловою обробкою в багаточанних парових жаровнях без подальшої екстракції;

- зниження відстою по масі при зніманні олії пресуванням шляхом підбора відповідних режимів волого-теплової обробки й пресування;
- послідовна волого-теплова детоксикація рицину, рицинину в тостері, хімічна детоксикація алергену СВ-1А в бункерах-інактиваторах;
- спалювання лушпиння та частково макухи в парогенераторі-утилізаторі, забезпечує паром високого тиску роботу шнека- інактиватора й багаточанних жаровень;
- зниження шкідливих викидів в атмосферу за рахунок використання напівзамкнутого повітряного циклу в шельмашині;
- забезпечення технохімічного контролю виробничих процесів.

Наші заводи (у містах Умань, Сміла, Верхньодніпровськ і ін.) випускають устаткування для переробки насіння соняшника з добовою продуктивністю 8-10 т. Однак, технологічні властивості насіння соняшника й відповідно технологія його переробки принципово відрізняється від властивостей насіння рицини й технології його переробки.

Тому при створенні міні-заводів по переробці насіння рицини з устаткування, що випускається вітчизняними заводами, практично нема що перейняти.

Таким чином, при зниженні вимог до якості рицинової олії, тобто при застосуванні цієї олії для відповідних технічних цілей, технологія без попереднього відділення лушпиння має право на існування. Однак для одержання рицинової олії більш високої якості, у тому числі для потреб медицини необхідно максимальне відділення оболонки від ядра.

5.2. Удосконалення технології переробки насіння рицини адаптованої до умов малотоннажного підприємства

Насіння рицини містять 52-57% рицинової олії, по суті насіння рицини, є бочонком наповненим маслом, яке за хімічним складом відрізняється від інших рослинних масел за рахунок високого вмісту рицинолевої кислоти 85-90%.

Олія рицини володіє унікальними властивостями: в'язка, слабо розчиняється в бензині та інших органічних розчинниках, яка не застигає при мінусових температурах, що робить його неперевершеним за якістю мастильним матеріалом, особливо для моторів, які працюють в складних умовах.

При глибокій переробці одержують технічну рицинову олію й високобілковий корм для великої рогатої худоби, свиней і птахів. Рицинова олія, як уже відмічалось вміщує близько 90 % рицинолевої кислоти, завдяки чому має унікальні фізико-хімічні властивості, і є незамінною в багатьох областях промисловості.

Не дивлячись на безперечні переваги, в Україні відсутні підприємства з переробки рицини. Таким чином, важливим на сьогоднішній день є обґрунтування доцільності створення таких підприємств.

Нами пропонується техніко-економічне обґрунтування створення міні-заводу по переробці насіння рицини на технічну рицинову олію і кормовий жмих з продуктивністю 15 т/добу по вихідній сировині.

Вивчення вітчизняного й закордонного досвіду переробки насіння рицини, відпрацьовування технології хімічної детоксикації макухи рицини і її випробування на великій рогатій худобі (ВРХ), свинях і курчатах дозволили розробити раціональну технологію переробки рицини на міні заводах.

Операційно-технологічна схема переробки насіння рицини дворазовим пресуванням представлена на рис.5.5.

Запропонована технологія має наступні принципові відмінності від існуючих технологій переробки насіння рицини:

- приймання, очищення й калібрування насіння, кондиціонування насіння по вологості перед обрушенням
- поліпшення відділення насінної й плодової оболонки (лушпиння) на шель- машині;
- інактивація ферментної системи перед волого-тепловою обробкою;
- двоступінчастий віджим на форпресі й експеллерному пресі з

вологотепловою обробкою в багаточанних парових жаровнях без подальшої екстракції;

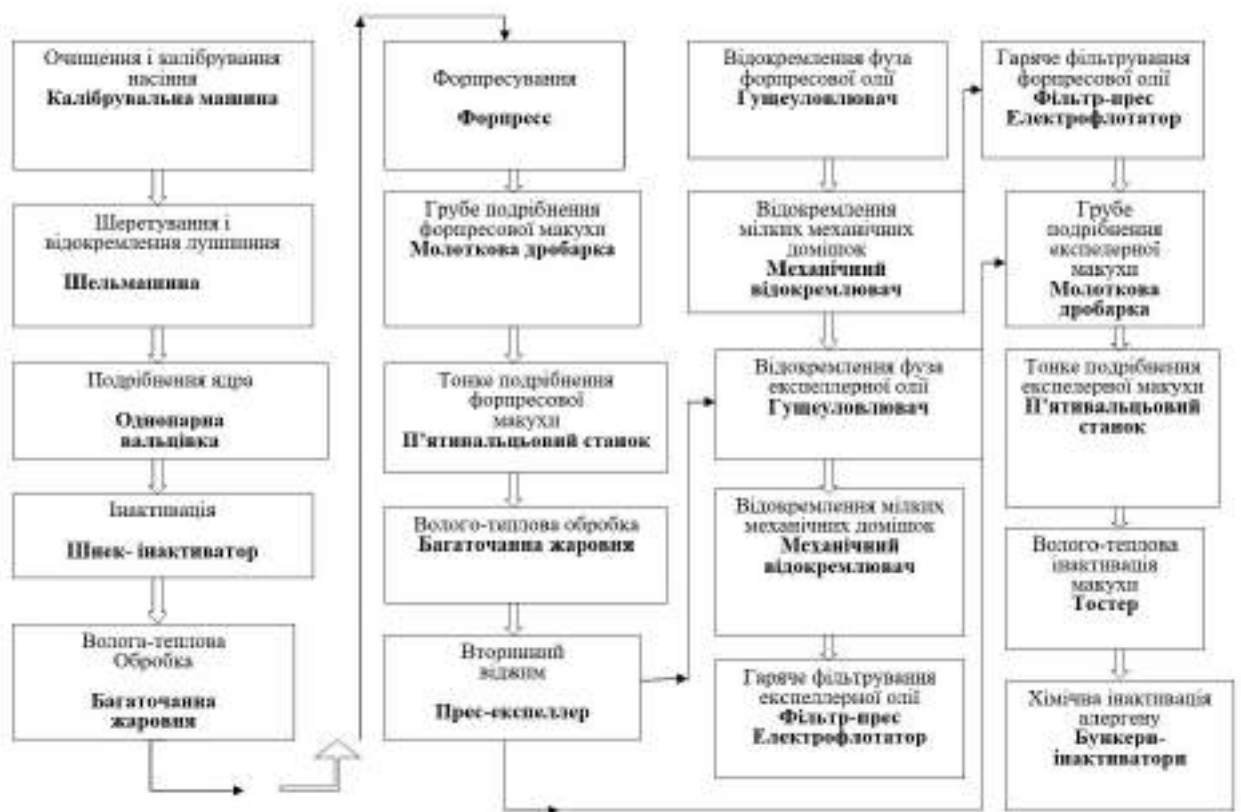


Рис. 5.5. Операційно-технологічна схема переробки насіння рицини дворазовим пресуванням

- зниження відстою по масі при зніманні олії пресуванням шляхом добору відповідних режимів жаріння й пресування;
- первинне очищення олії з гарячою фільтрацією та електрофлотацією;
- послідовно волого-теплова детоксикація рицину, рицинина в тостері, хімічна детоксикація алергену СВ-1А в бункерах-інактиваторах;
- спалювання лушпиння в парогенераторі-утилізаторі, що працює на лушпинні, що забезпечує парою високого тиску роботу шнека-інактиватора й багаточанної жаровні;
- зниження шкідливих викидів в атмосферу за рахунок використання напівзамкненого повітряного циклу в шельмашині, двох-трьох східчастого очищення повітря;

- забезпечення технохімічного контролю виробничих процесів.

Раніше переробка насіння рицини здійснювалася за схемою попереднє пресування - екстракція з відділенням лушпиння на шелушильній машині і знешкодження рицинової макухи [227].

Попередній відбір олії здійснювався в апаратах Скіпіна і подальше віджимання на гвинтових пресах. Знешкодження рицинової макухи виконувалося в п'ятичанній жаровні за рахунок пропарювання гострою насиченою парою з одночасним введенням гарячої води до вологості 15-18% і температури 105-110°C в верхньому чані. Можна зменшити час сушіння, якщо пропарювання здійснювати глухим паром з доведенням до температури 130-135°C і зниженням вологості до 7,0-10,0%. Знешкоджена макуха, яка призначається для кормових цілей, повинна мати негативну реакцію (аглотинації еритроцитів) на присутність рицину. Вміст матеріалу в межах 20-40 мг / кг і лушпиння не більше 11,0%.

У 1968 році вводиться тимчасова інструкція по переробці необрушеного насіння рицини за схемою формпресування - екстракція [240]. Попереднє знімання олії в апараті Скіпіна було знято з виробництва. Подальші дослідження підтвердили необхідність відмови від обрушення насіння через недосконалість шелушильної машини і технології підготовки насіння до обрушення, що викликало, підвищену олійність відокремленого лушпиння і відповідну втрату олії [224, 225].

Рицин інактивується нагріванням пари і введенням вологи. Однак, алерген рицини не руйнується при звичайному способі детоксикації, і люди, які мають справу з рициновим шротом або макухою можуть придбати підвищену чутливість до нього і страждати від алергічних реакцій [226]. Дослідження по детоксикації алергену рицини проводиться хімічними реагентами.

В даний час в Україні створена ціла мережа малотоннажних цехів з виробництва соняшникової олії. Устаткування цих цехів має ряд істотних недоліків.

Найбільшим недоліком є застосування вологотеплової обробки м'ятки в вогненних жаровнях при контактній температурі 400-700°C, з великою нерівномірністю температурного поля в просторі і в часі, відсутністю можливості управляти тепловими режимами і неможливістю інактивації ферментної системи зруйнованого насіння.

Дослідженнями, проведеними в США, Англії [226] та інших країнах, встановлено, що вже при температурі 115-135°C в рослинних оліях інтенсивно протікають окислювальні і гідролізні процеси. Окислення олій, що почалися в процесі переробки насіння, триває в готовому продукті в процесі зберігання, насичуючи його канцерогенами, мутагенними продуктами окислення.

Жорсткі режими вологотеплової обробки різко знижують перетравність і засвоюваність білків, викликаючи гідроліз незамінних дефіцитних амінокислот, перш за все лізину [228]. Різко знижується якість макухи, як високобілкової кормової добавки.

В основу удосконалення технології отримання рослинної олії високої якості покладено введення в технологічний процес додаткових операцій, що оптимізує процес глибокої переробки рослинної сировини, підвищує якість очищення та забезпечує можливість отримувати олію високої якості.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі отримання рослинної олії високої якості, який полягає в сепарації і кондиціюванні насіння, його обрушенні і інактивації в шнеку-інактиваторі, вологотепловій обробці перед форпресуванням і експелерним пресуванням, згідно зі схемою, додатково очищують від механічних домішок і калібрують насіння за розмірами перед обрушенням у триситовому сепараторі, потім аеросепарують рушанку, освітлюють і фільтрують олію у електрофлотаторі.

Введення у технологічний процес додаткових операцій оптимізує сам процес глибокої переробки рослинної сировини, знижує втрати олії і дозволяє одержувати олію високої якості. Технологія пояснюється кресленням, де зображена технологічна лінія, на якій відбувається реалізація способу рис. 5.6.

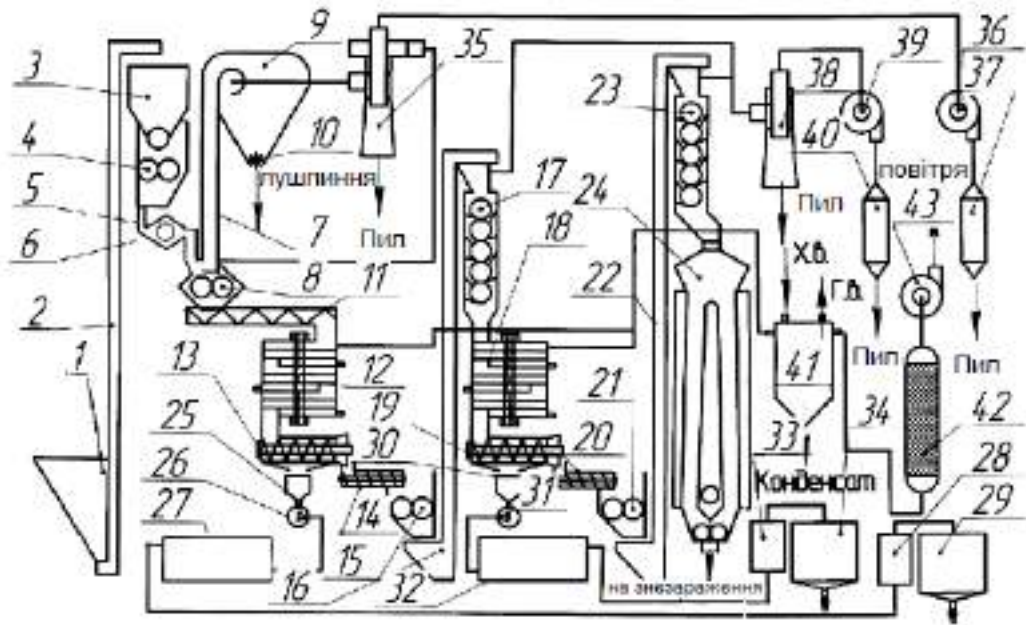


Рис. 5.6. Технологічна схема переробки насіння рицини на малотоннажному підприємстві: приймальний бункер 1, елеватор 2, бункер шельмашини 3, однопарні вальці 4,8,15,21, повітряний сепаратор 5, коливальне днище 6, пневмосепаруючий канал 7, осадову камеру 9, вакуумний затвор 10, шнек-інактиватор 11, багаточанна жаровня 12, форпрес 13, ломальний шнек 14,20, норію 16,22, п'ятивалковий станок 17,23, експелерний прес 19, охолоджувальна колонка 24, здвоєний гущеуловлювач 25,30, насос 26,31, електрофлотатор 27, 32, трубчатий теплообмінник 28,33, бак 29,34, регульований циклон 35,40, відцентровий вентилятор 36,39,43, рукавний фільтр повітря 37, циклон 38, теплообмінник 41, адсорбер 42, завантажувальний бункер 44.

Відкаліброване та очищене від механічних домішок на триситовому сепараторі насіння рицини з приймального бункера 1, елеватором 2 зі спеціальними ковшами подається в бункер шельмашини 3.

Насіння з бункера через живильний валик надходять в однопарні вальці 4 де здійснюється його обрушення. Щоб зберегти цільність ядра насіння, проміжок між валками встановлюється на 0,5 - 1,2 мм менше середньої товщини насіння рицини. Отримана рушанка надходить в повітряний сепаратор 5. Ядро і велика оболонка

рухається сходом з сепаратора і потрапляє в пневмосепаруючий канал 7. Ядро, як більш важка фракція, падає вниз на однопарні вальці 8. Ядро насіння рицини внаслідок його високої олійності при ретельному подрібненні перетворюється в мазеподібну речовину, майже нетранспортабельний продукт, в якому рівномірний розподіл вологи на наступній операції (вологотеплової обробці) практично унеможлиблюється. Тому ядро насіння рицини піддають грубому подрібненню на однопарних плющильних вальцях 8. Проміжок між вальцями встановлюють на 1,0-2,0 мм менше ніж товщина середньої фракції ядра. Відокремлене лушпиння підхоплюється струменем повітря, що створюється вентилятором 36 і несеться в відцентрову осадочну камеру 9 шельмашини 3, де за рахунок відцентрових сил та збільшення об'єму осідає і виводиться через вакуум-затвор 10 за межі шельмашини 3. Лузжистість ядра не повинна перевищувати 8,0 - 10,0%, винос ядра в оболонку 0,3 - 0,4%, олійність лушпиння, що відходить не більше 1,5 - 1,8%.

Лушпиння з осадочної камери 9 і прохід з коливального решета шельмашини 3 пневмотранспортом спрямовується в приймальний бункер 1 парового котла для забезпечення виробництва технологічною парою. Насіння рицини мають найбільш активну (порівняно з іншими олійними культурами) ліпазу, тому після подрібнення ядра необхідно проводити інактивацію ферментного комплексу, для чого використовується шнек-інактиватор 11. Інактивацію ферментної системи отриманої м'ятки необхідно здійснювати зволоженням і нагріванням протягом 30 - 40 с насиченою гострою парою до вологості 9,0 - 10,0% і температури 85 - 90°C. При цьому кислотне число пресованої олії знижується в середньому на 0,6-0,8 мг КОН порівняно з оліями, які отримують із застосуванням традиційного методу жаріння. Зі шнека-інактиватора 11 м'ятка надходить в багаточанну жаровню 12. У верхньому чані жаровні вологість м'ятки доводять до 13,0 - 13,5%. Зволожену м'ятку піддають подальшій теплової обробці в самопропарюючих шарах з доведенням вологості при вході в прес до 5,0 - 6,0% і температури 100 - 105°C. Тривалість жаріння мезги при нормальному заповненні жаровень повинна складати 45 - 60 хв. Тиск зарубашечної пари в жаровні повинен бути 0,4 МПа. Відведення вологи з жаровні здійснюється за допомогою природної аспірації через витяжні

труби, не допускаючи підсмоктування повітря в чани жаровні. Від ступеня обґрунтованості режимів волого-теплової обробки м'ятки залежить якість і потенційний вихід олії після подальшого його віджимання в гвинтовому пресі.

Попереднє віджимання мезги проводиться на форпресі 13. Величина зазору між зерними пластинами повинна становити: на I ступені - 1,5 мм, на II - 1,0, на III - 0,75 і на IV - 0,45 мм, кутова швидкість обертання гвинтового вала 18 об / хв. Олійність пелюстка на виході з форпресу 17 - 20%, вологість форпресової макухи 6 - 6,5%.

Подрібнення форпресової макухи здійснюють послідовно в ломальному шнеку 14 для макухи, однопарних вальцах 15 і на п'ятивалковому верстаті 16. Подрібнена форпресова макуха за ступенем подрібнення повинна бути максимально однорідною за вмістом проходу через одноміліметрове сито не менше 80%. Подачу попередньо подрібненої форпресової макухи здійснюють норією 16. П'ятивалковий верстат 17 встановлюється над багаточанною жаровнею 18 експелерного преса 19.

Подрібнена форпресова макуха подається в верхній чан експелерної жаровні 18. У верхньому чані жаровні мезга піддається повторному зволоженню до 7 - 7,5% водою і насиченим гострим паром. Зволожена м'ятка проходить подальшу теплову обробку в шарах, що самопропарюються товщиною 250 - 350 мм з доведенням вологості при вході в прес до 3,7 - 4,2% і температури 115 - 120°C.

Тривалість висушування мезги при нормальному заповненні жаровень повинна становити 45 - 60 хв. Тиск зарубашечної пари в жаровні повинен бути 0,4 МПа. Відведення зайвої вологи з другого і третього чанів регулюють заслонками витяжних вікон без примусової вентиляції.

Остаточне віджимання проводиться в експелерному пресі 19. Зазори між зерними пластинками (мм): I секція - 0,8 - 1,0; II секція - 0,5 - 0,7; III секція - 0,25; IV секція - 0,15. Кутова швидкість обертання гвинтового вала 4,5 - 5,5 об / хв. Олійність макухи при фактичній вологості, не вище 6,0%.

Подрібнення експелерної макухи здійснюють послідовно в ломальному шнеку 20 для макухи, однопарних вальцах 21 і на п'ятивалковому верстаті 23, подача в який здійснюється норією 22. Подрібнена експелерна макуха за ступенем подрібнення повинна бути максимально однорідною за вмістом проходу через одноміліметрове сито не менше 80%. Подрібнена експелерна макуха далі надходить в охолоджувальну колонку 24 і в цех детоксикації рицини, рициніна і алергенів.

Форпресова олія з преса 13 надходить в здвоєну гущеловушку 25, з якої насосом 26 подається в електрофлотатор 27 і далі в трубчастий теплообмінник 28, бак 29 складу готової продукції. Експелерна олія з преса 19 надходить в здвоєну гущеловушку 30, з якої насосом 31 подається в електрофлотатор 32 і далі в трубчастий теплообмінник 33, бак 34 складу готової продукції.

Для уловлювання пилу насіння рицини передбачена напівзамкнута система очищення повітря в шельмашині 4-10. Для розподілу потоку застосовується регульований циклонний апарат РЦР 35 з додатково влаштованим равликовим розподільником потоку. Запилене повітря аспірується з відцентрової осадової камери шельмашини і зони відсіювання і направляється в регульований циклонний апарат.

Тут відділяється понад 90% пилу і відбувається розподіл потоку на дві частини. Один потік повертається в пневмосепаруючий канал шельмашини, а інший потік подається відцентровим вентилятором 36 на другу сходинку очищення – рукавний фільтр 37.

Відведення повітря від решти устаткування, що виконує механічні процеси переробки насіння рицини, відбувається вентилятором 39 з двоступеневою системою очищення повітря в циклонному апараті 38 і рукавному фільтрі 37.

Відведення пароповітряної суміші з жаровень 12 і 18 здійснюється вентилятором 43 і проходить двоступеневу очистку конденсацією парів в трубчастому теплообміннику 41 і в адсорбері 42 з активованим вугіллям.

Позитивний ефект запропонованого способу полягає в підвищенні відсотка виходу олії внаслідок застосування технології калібрування насіння

рицини, що обумовлено великою розбіжністю його геометричних розмірів. Це дозволяє під кожну, отриману після калібрування, розмірну групу насіння налаштувати оптимальний зазор однопарних вальців шельмашини для його ефективного обрушення без додаткових пошкоджень ядра, що суттєво запобігає втратам олії в рушанці. Також запропонований спосіб дозволяє збільшити продуктивність технологічної лінії глибокої переробки рослинної сировини рицини в умовах малотоннажного виробництва шляхом застосування в технологічному процесі аеросепарації лушпіння і фільтрації олії електрофлотаторами.

Крім цього, значно підвищується ресурс робочих органів гвинтових пресів за рахунок якості очищення насіння і рушанки від механічних домішок. Для уловлювання пилу насіння рицини передбачена напівзамкнута система очищення повітря в шельмашині 4-10. Для поділу потоку застосовується регульований циклонний апарат РЦР-35 з додатково влаштованим равликовим роздільником потоку. Запилене повітря аспірується з відцентровій осадовій камері шельмашини і направляється в регульований циклонний апарат. Тут відділяється понад 91% пилу і відбувається поділ потоку на дві частини. Один потік повертається в пневмосепараційний канал шельмашини, а інший потік подається відцентровим вентилятором 36 на другу сходинку очищення - рукавний фільтр 37. Ступінь очищення в рукавному фільтрі складає понад 96%.

Відведення повітря від решти устаткування, що виконує механічні процеси переробки насіння рицини, відбувається вентилятором 39 з двоступеневим очищенням повітря в циклонному апараті 38 і рукавному фільтрі 40.

Застосування напівзамкнутої системи очищення повітря в шельмашині з використанням регульованого циклонного апарату з додатково влаштованим равликовим поділом потоку, двоступенева очистка повітря при механічній обробці насіння рицини-циклон і матерчатий фільтр, а при влаготепловій обробці трубчастий теплообмінник і адсорбер з активованим вугіллям забезпечують надійний захист навколишнього середовища.

Відведення пароповітряної суміші з жаровень 12 і 18 здійснюється вентилятором 43 і проходить двоступеневе очищення конденсацією парів в трубчастому теплообміннику 41 і адсорбері 42 з активованим вугіллям.

Згідно з операційно-технологічною схемою для переробки насіння рицини необхідно придбати обладнання, яке забезпечить відповідний рівень виробництва (табл. 5.1)

Таблиця 5.1

Перелік обладнання міні-заводу

№ пп	Найменування обладнання	Кількість, од.
1	2	3
1	Бункер прийомний	1
2	Норія	3
3	Установка для очищення насіння	1
4	Шельмашина	1
5	Регульований циклон	2
6	Вентилятор	2
7	Рукавний фільтр	2
8	Однопарний вальцовий верстат	3
9	Шнек-інактиватор	1
10	Семічанна парова жаровня	1
11	П'ятичанна парова жаровня	1
12	Форпрес	1
13	Експелерний прес	1
14	П'ятивальцовий верстат	2
15	Молотковий подрібнювач	2
16	Тостер	1
18	Змішувач	1

Продовження таблиці 5.1

1	2	3
19	Бункер-дезактиватор	8
20	Транспортер шнековий	2
21	Роздавальний транспортер	1
22	Складальний транспортер	1
23	Фільтр- електрофлотатор	2
24	Бак для олії	7
25	Насос	2
26	Установка для пило-газоочищення	1

В результаті дотримання відповідних технологічних режимів переробки одержують рицинову олію, якісні показники якої відповідають вимогам ГОСТ 6757-73 або Фармастатті ФС-426-413-99 (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Характеристика якості рицинової технічної нерафінованої олії (ГОСТ 6757-73)

№ п.п.	Найменування показників	Характеристика олії
1	2	3
Органолептичні показники		
1	Прозорість	Допускається помутніння над осадом
2	Розчинність у рівному обсязі 96%-ного етилового спирту	повна
Фізико-хімічні показники		
3	Йодне число мг йоду, не більш	70
4	Щільність при 20°C, г/см	0,970
5	Кислотне число мг КОН/г, не більш	5,0
6	Волога й летучі речовини, %, не більше	0,30

Продовження таблиці 5.2

1	2	3
7	Нежирові домішки (відстій по масі, %, не більше	0,2
8	Умовна в'язкість при 20°C,сек	Не визначається
9	При 50°C, умовні градуси, не менше	Не визначається
10	Температура застигання °С, не вище	Не визначається
11	Температура спалаху пресової олії в закритому тиглі, °С, не менш	240
12	Мило	Не визначається

Таким чином, глибина переробки рицини за запропонованою технологією відповідно до розробленої технологічної схеми адаптованої до малотоннажного підприємства дозволить забезпечити виробництво продуктів високої якості.

5.2.1. Розрахунок багаточанної жаровні продуктивністю 625 кг / год

Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 5.3

Таблиця 5.3

Вихідні дані

№/пп	Найменування позиції	од. виміру.	Вел.
1	2	3	4
1	Добова продуктивність лінії	кг/добу	15000
2	Годинна продуктивність лінії	кг/год	625
3	Вихідна вологість м'ятки	%	7
4	Продуктивність сухої жирної речовини	кг/год	292.95
5	Питома теплоємність сухої жирної речовини м'ятки	кДж/(кг·К)	1.9276

Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4
6	Олійність насіння при фактичній вологості	%	55
7	Час жаріння м'ятки в жаровні	хв	60
8	Продуктивність жаровні	кг/год	625
9	Число чанів	шт	7
10	Насипна маса м'ятки	кг/м ³	535
11	Об'єм маси м'ятки в чані	м ³	0.1460
12	Діаметр днища чану	м	2.2
13	Розрахункова площа днища чану	м ²	3.7994
14	Товщина днища чану	м	0.01
15	Теплопровідність днища чана	Вт/(м·К)	46.52
16	Тиск зарубашечної пари в чані жаровні	МПа	0.4
17	Температура зарубашечної пари	°С	164.2
18	Питома ентальпія зарубашечної пари	кДж/кг	2769
19	Тиск гострої пари	МПа	0.2
20	Температура гострої пари	°С	119.6
21	Питома ентальпія гострої пари	кДж/кг	2710
22	Питома ентальпія конденсату глухої пари	кДж/кг	694.3
23	Коефіцієнт теплопередачі від водяної пари, що конденсується, до днища, α_1	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	11630
24	Коефіцієнт теплопередачі від днища чану до м'ятки, α_2	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	209.34
25	Термічний опір днища жаровні		0.000215
26	Загальний коефіцієнт теплопередачі від пари, що конденсується, до м'ятки	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	196,547
	Кінцева вологість при виході з жаровні	%	5-6
	Кінцева температура при виході з жаровні	°С	90

Теплоємність сухої жирної речовини м'ятки може бути обчислена за законом адитивності:

$$c = \frac{c_M \cdot M + c_{II} \cdot II + c_K \cdot K}{M + II + K} = \frac{2.095 \cdot 57.1 + 2.095 \cdot 20.7 + 1.3408 \cdot 22.2}{100} = 1.9276 \text{ кДж/кг } ^\circ\text{C}$$

де c_M – теплоємність олії 2,095 кДж/кг $^\circ\text{C}$;

c_{II} – теплоємність протеїну 2,095 кДж/кг $^\circ\text{C}$;

c_K – теплоємність клітковини 1,3408 кДж/кг $^\circ\text{C}$;

c_B – теплоємність води 4,19 кДж/кг $^\circ\text{C}$.

Кількість тепла через поверхню нагріву визначаємо за відомим рівнянням Фур'є

$$Q = Fk\Delta t_{cp}\tau, \quad (5.1)$$

де Q – кількість тепла, що проходить крізь поверхню нагріву, Вт;

Δt_{cp} – середня різниця температур процесу, К

τ – тривалість процесу, с.

Коефіцієнт теплопередачі від конденсуючої пари до мезги через стінку

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (5.2)$$

де α_1 – коефіцієнт теплопередачі від пари, що конденсується до стінки, Вт/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$);

α_2 – коефіцієнт теплопередачі від стінки до переміщуваної мезги, Вт/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$);

δ – товщина стінки, м;

λ – теплопровідність матеріалу стінки, Вт/(м·К).

У теорії сушіння вологість зазвичай розглядається по відношенню до маси сухого матеріалу, яка в процесі сушіння залишається незмінною, що представляє велику зручність для розрахунків.

Вологість матеріалу по відношенню до загальної маси, %

$$W = \frac{g_{вол}}{g} \cdot 100 \quad (5.3)$$

Формули переходу, %

$$W^c = \frac{W}{100 - W} \cdot 100 \quad (5.4)$$

$$W = \frac{W^c}{100 - W^c} \cdot 100 \quad (5.5)$$

Якщо вологість матеріалу по відношенню до маси сухої речовини висловити в кг/кг с., то отримаємо вологомісткість матеріалу (питомий вміст води).

$$u = \frac{g_{вол}}{g_{с.реч}} \quad (5.6)$$

Вологовмісткість може характеризувати вологість не тільки всього обсягу матеріалу, а й вологість в шарі або в точці. Якщо вода розподілена рівномірно по перетину матеріалу, то $W^c = 100u$ або $u = \frac{W^c}{100}$

Показники, що характеризують залежність питомого вологовмісту і енергії зв'язку від відносної вологості в межах 20-90 % з кроком 10%, наведені в таблиці 5.4

Таблиця 5.4

Рівноважний питомий вміст води (u) і енергія зв'язку (E) води м'ятки насіння рицинії

Теплофізичні характеристики	Відносна вологість, відсотків			
	20	30	40	50
u , кг/кг	0.0287	0.035	0.0413	0.049
E , кДж/моль	3975	2974.4	2264.1	1712,8
Теплофізичні характеристики	Відносна вологість			
	60	70	80	90
u , кг/кг	0.056	0.0606	0.0686	0.09
E , кДж/моль	1261,5	881.3	551.4	263

Методику розрахунку кожного чану багаточанної жаровні покажемо на прикладі варіанту розрахунку $d=1.0$ м, $F = 0.78$ кв. м, число чанів 7. В першому чані відбувається зволоження м'ятки до 13, %, в наступних шести чанах відбувається поступовий процес сушіння м'ятки до 6,5%

Результати розрахунку першого чану жаровні:

1. Зволоження м'ятки з 7 до 13,5%
2. Підвищення температури м'ятки з 53,57 до 84.66° С.
3. Витрата заоболонкової пари 3,78 кг / год.
4. Кількості тепла проходить через поверхню днища 7541 кДж.

Розрахунок другого чану жаровні

Таблиця 5.5

Матеріальний та тепловий баланс другого чану жаровні

Надходження	Витрати
1	2
Матеріальний баланс другого чану жаровні	
1. М'ятка вологістю 13.5 %	1. М'ятка: 338,6705 – m_{66}

Продовження таблиці 5.5

1	2
$\frac{292,95 \cdot 100}{100 - 13,5} = 338,6705 \text{ кг}$ <p>1.1 Суха олійна речовина м'ятки 292,95 кг</p> <p>1.2 Волога м'ятки $338,6705 - 292,95 = 45,7205 \text{ кг}$</p>	<p>1.1 Суха олійна речовина м'ятки: 292,95 кг</p> <p>1.2 Волога м'ятки: $45,7205 - m_{\text{вв}}$</p>
2. Гостра пара D	2. Конденсат гострої пари D
	3. Випарувана волога $m_{\text{ви}}$
Разом: $338,6705 + D$	$338,6705 + D$
Тепловий баланс другого чану жаровні	
<p>1. Тепло, яке вносить м'ятка 58686 кДж</p> <p>1.1 Суха олійна речовина м'ятки: $Q_1 = m_c c_c t_1 = 292,95 \cdot 1,9276 \cdot 77,6 = 43820 \text{ кДж}$</p> <p>1.2 Волога м'ятки $Q_1 = m_g c_g t_1 = 45,7205 \cdot 4,19 \cdot 77,6 = 14866$</p>	<p>1. Тепло, яке забирає м'ятка: $58686 - 325,144 \cdot m_{\text{вв}}$</p> <p>1.1 Суха олійна речовина м'ятки: $Q_1 = m_c c_c t_2 = 292,95 \cdot 1,9276 \cdot 154 = 86944 \text{ кДж}$</p> <p>1.2 Волога м'ятки: $Q_1 = m_g c_g t_1 = m_g \cdot 4,19 \cdot 77,6 =$ $= 325,144 \cdot (45,7205 - m_{\text{вв}}) =$ $= 14866 - 325,1440 \cdot m_{\text{вв}}$</p>
<p>Тепло, яке вносить гостра пара: $Q_3 = i_{\text{п}} D = 2769 \cdot D$</p>	<p>Тепло, яке забирає конденсат гострої пари: $Q_6 = 694,3 \cdot D$</p>
	<p>3. Тепло, що забирає випарувана волога: $Q_7 = i \cdot m_{\text{вв}} = 2640,1 \cdot m_{\text{вв}}$ де $i = 2640,1 \text{ кДж/кг}$ – тепловміст пари при $t = 77,6^\circ \text{ C}$</p>
	<p>Тепловтрати приймемо рівними 3% від Q_3: $Q_8 = 0,03 \cdot 2769 D = 83,07 D$</p>
Разом $58686 + 2769 D$	$58686 + 2315 \cdot m_{\text{вв}} + 777,37 D$

Прирівнюємо частину надходження та частину витрати теплового балансу

$$58686 + 2769D = 58686 + 2315 \cdot m_{\text{вв}} + 777,37D$$

Переносимо в один бік члени, що описують кількість необхідної пари, а в інший – баланс тепла.

$$2315 \cdot m_{\text{вв}} = (2769 - 777,37)D$$

Визначаємо кількість тепла, яке проходить через поверхню нагріву днища першого чану жаровні, за рівнянням Фур'є:

$$Q = 3,7994 \cdot 196,547 \cdot 86,6 \cdot 600 = 38802000 \text{ Дж} = 38802 \text{ кДж}$$

Замінюємо в балансовому рівнянні праву частину на кількість тепла, визначену за рівнянням Фур'є:

$$2315m_{\text{вв}} = 38802$$

Визначаємо кількість вологи, що випаровується

$$m_{\text{вв}} = \frac{38802}{2315} = 16,7611 \text{ кг}$$

Кількість м'ятки на виході з другого чану

$$338,6705 - m_{\text{вв}} = 338,6705 - 16,7611 = 321,9094 \text{ кг}$$

Кількість вологи, яку містить м'ятка, на виході з другого чану

$$90,7153 - m_{\text{вв}} = 45,7205 - 16,7611 = 28,9594 \text{ кг}$$

Вологість м'ятки на виході з другого чану

$$W = \frac{28,9594}{321,9094} \cdot 100 \approx 9\%$$

$$u_2 = \frac{9}{100-9} \approx 0,1\%$$

Розрахунок третього чану жаровні

Таблиця 5.6

Матеріальний та тепловий баланс третього чану жаровні

Надходження	Витрати
1	2
Матеріальний баланс третього чану жаровні	
1. М'ятка вологістю 9 %: 321,9094 кг	1. М'ятка вологістю 8.2%
1.1 Суха олійна речовина м'ятки 292.95 кг	$\frac{292,95 \cdot 95}{100 - 8,2} \cdot 100 = 319,1176$ кг
1.2 Волога м'ятки 28,9594 кг	1.1 Суха олійна речовина м'ятки 292,95 кг
	1.2 Волога м'ятки $319.1176 - 292.95 = 26.1676$ кг
2. Гостра пара D	2. Конденсат гострої пари D
	3. Випарувана волога $28.9594 - 26.1676 = 2.7918$ кг
Разом $321.9094 + D$	$321.9094 + D$
Тепловий баланс третього чану жаровні	
1. Тепло, що вносить м'ятка 53236 кДж	1. Тепло, що забирає м'ятка: 6037.3 кДж
1.1 Суха олійна речовина м'ятки: $Q_1 = m_c c t_1 = 292,95 \cdot 1,9276 \cdot 77,6 = 43820$ кДж	1.1 Суха олійна речовина м'ятки: $Q_1 = m_c c t_2 = 292,95 \cdot 1,9276 \cdot 83,1 = 46926$ кДж
1.2 Волога м'ятки $Q_2 = m_g c_g t_1 = 28,9594 \cdot 4,19 \cdot 77,6 = 9416$	1.2 Волога м'ятки $Q_5 = m_g c_g t_2 = 26,1676 \cdot 4,19 \cdot 83,1 = 9111,3$ кДж
2. Тепло, що вноситься гострою парою: $Q_3 = i_{\text{г}} D = 2769 \cdot D$	2. Тепло, що виноситься конденсатом гострої пари: $Q_6 = 694,3 \cdot D$
	3. Тепло, що забирає випарувана

Продовження таблиці 5.6

1	2
	волога $Q_7 = i \cdot m_{\text{вс}} = 2649,8 \cdot 2,97918 = 7397,7 \text{ кДж}$ де $i=2649,8 \text{ кДж/кг}$ питомий тепловміст пари при $t=83,1^\circ\text{C}$
	4. Тепловтрати приймемо рівними 3% від Q_3 : $Q_8 = 0,03 \cdot 2769D = 83,07D$
Разом $53236+2769D$	$63435+777,37D$

Прирівнюємо частину надходження та частину витрати теплового балансу

$$53236+2769D = 63435+777,37D$$

Переносимо в один бік члени, що описують кількість необхідної пари, а в інший – баланс тепла

$$63435-53236=(2769-777,37)D$$

$$10199=(2769-777,37)D$$

Уточнимо кількість тепла, що проходить через поверхню нагріву днища другого чану жаровні за рівнянням Фур'є. Визначимо середню різницю температур процесу:

$$\Delta t_1 = 164,2 - 77,6 = 86,6^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = 164,2 - 83,1 = 81,1^\circ\text{C}$$

Так як $\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{86,6}{81,1} < 2$, то можна середню різницю температур обчислити

за спрощеною формулою

$$\Delta t_{\text{cp}} = t_s - \frac{t_1 + t_2}{2} = 164,2 - \frac{77,6 + 83,1}{2} = 83,85^\circ\text{C}$$

Згідно рівнянню Фур'є

$$Q_1 = F \cdot K \Delta t_{cp} \tau = 3,7994 \cdot 196,547 \cdot 83,85 \cdot 600 = 37570000 \text{ Дж} = 37570 \text{ кДж}$$

Порівнюємо можливу кількість тепла, що проходить крізь поверхню нагріву другого чану з потрібним теплом для виконання завданого режиму $37547 - 10199 = 27371$ кДж

Маса випаровуваної вологи в третьому чані складає 2,7918 кг. Ця маса складе кількості речовини м'ятки $2791.8 : 18 = 155.1$ моль. Значить при питомому вологовмісті м'ятки $u_3 = 0.09$ кг і її температурі 83.1°C енергія зв'язку вологи з м'яткою насіння рицини складе $27371 / 155.1 \approx 176.5$ кДж/моль.

Розрахунок четвертого чану жаровні

Таблиця 5.7

Матеріальний та тепловий баланс четвертого чану жаровні

Надходження, кг	Витрати, кг
1	2
Матеріальний баланс четвертого чану жаровні	
1. М'ятка вологістю 9.6 %: 91.3061 кг	1. М'ятка вологістю 8.1 %
1.1 Суха олійна речовина м'ятки 83,7 кг	91.3061 - 1.4903 = 89.8158 кг
1.2 Волога м'ятки 7.6061 кг	1.1 Суха олійна речовина м'ятки 83,7 кг
	1.2 Волога м'ятки 7.6061 - 1.4903 = 6.1158 кг
2. Гостра пара D	2. Конденсат гострої пари D
	3. Волога, що випаровується $91.3061 \frac{9.6 - 8.1}{100 - 8.1} = 1.4903$ кг
Разом: 91,3061 + D	91,3061 + D
Тепловий баланс четвертого чану жаровні	
1. Тепло, що вносить м'ятка	1. Тепло, що забирає м'ятка

Продовження таблиці 5.7

1	2
17389 кДж 1.1 Суха олійна речовина м'ятки $Q_1 = m_c c_c t_1 = 83.7 \cdot 1.9276 \cdot 89.9 = 14504$ кДж	186,9653 · t_2 кДж 1.1 Суха олійна речовина м'ятки $Q_4 = m_c c_c t_2 = 83.7 \cdot 1.9276 \cdot t_2 = 161.3401 t_2$ кДж
1.2 Волога м'ятки $Q_2 = m_b c_b t_1 = 7.6061 \cdot 4.19 \cdot 89.9 = 2865.1$ кДж	1.2 Волога м'ятки $Q_5 = m_b c_b t_1 = 6.1158 \cdot 4.19 \cdot t_2 = 25.6252 t_2$ кДж
2. Тепло, що вносить гостра пара $Q_3 = i_{\text{п}} D = 2769 \cdot D$	2. Тепло, що забирає конденсат гострої пари $Q_6 = 694.3 \cdot D$, кДж
	3. Тепло, що забирає волога, що випаровується $Q_7 = i \cdot m_{\text{ви}} = 2662.7 \cdot 1.4903 = 3968.2$ кДж де $i = 2662.7$ кДж/кг питомих тепловміст пари при $t = 92^\circ \text{C}$
	4. Тепловтрати візьмемо рівними 3% від Q_3 : $Q_8 = 0.03 \cdot 2769 D = 83.07 D$ кДж
Разом 17389+2769D кДж	$186.9653 t_2 + 3968.2 + 777.37 D$ кДж

Прирівняємо ліві і праві частини теплового балансу

$$17389 + 2769D = 186.9653 \cdot t_2 + 3968.2 + 777.37D$$

Перенесемо в одну сторону члени з вмістом, що описує кількість потрібної пари, а в другу – баланс тепла

$$186.9653 \cdot t_2 - 13421 = (2769 - 777.37)D$$

Уточнимо кількість тепла, що проходить через поверхню нагріву днища

третього чану жаровні за рівнянням Фур'є. Визначимо середню різницю температур процесу

Так як $\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} < 2$, то можна середню різницю температур обчислити за

спрощеною формулою

$$\Delta t_{cp} = t_s - \frac{t_1 + t_2}{2} = 164.2 - \frac{89.9 + t_2}{2} = 119.25 - \frac{t_2}{2}$$

Відповідно до рівняння Фур'є

$$\begin{aligned} Q_{\Phi} &= F \cdot K \Delta t_{cp} \tau = 0.785 \cdot 196.547 \cdot 514 \cdot \left(119.25 - \frac{t_2}{2} \right) = \\ &= 79305 \left(119.25 - \frac{t_2}{2} \right) \text{Дж} = (9457.1 - 39.6525 \cdot t_2) \text{кДж}. \end{aligned}$$

Прирівняємо кількість витраченої енергії на випаровування вільної вологи і розрив зв'язку вологи з м'яткою та кількість тепла, що проходить через поверхню нагріву третього чану:

$$186.9653 \cdot t_2 - 13421 + 3968 = 9457.1 - 39.6525 \cdot t_2;$$

Після перетворення отримуємо

$$226.6178 \cdot t_2 = 18910;$$

Звідки температура зволоженої м'ятки на виході з третього чану дорівнює

$$t_2 = \frac{18910}{226.6178} \approx 83.4^{\circ} \text{C}$$

Розрахунок п'ятого чану жаровні

Таблиця 5.8

Матеріальний та тепловий баланс п'ятого чану жаровні

Надходження	Витрати
1	2
Матеріальний баланс п'ятого чану жаровні	
1. М'ятка вологістю 7.4 % 316.3607 кг	1. М'ятка вологістю 6.6 % $\frac{292,95 \cdot 95}{100 - 6,6} \cdot 100 = 313,6510$ кг
1.1 Суха олійна речовина м'ятки 292.95 кг	1.1 Суха олійна речовина м'ятки 292,95 кг
1.2 Волога м'ятки 23.4107	1.2 Волога м'ятки 313.6510 - 292.95 = 20.7010 кг
2. Гостра пара D	2. Конденсат гострої пари D
	3. Випарувана волога 23.4107 - 20.7010 = 2.7097 кг
Разом: 316.3607 + D	316.3607 + D
Тепловий баланс п'ятого чану жаровні	
1. Тепло, що вносить м'ятка 58722,8 кДж	1. Тепло, що забирає м'ятка 61299 кДж
Суха олійна речовина м'ятки $Q_1 = m_c c_c t_2 = 292,95 \cdot 1,9276 \cdot 88,6 = 50032$ кДж	1.1 Суха олійна речовина м'ятки $Q_4 = m_c c_c t_2 = 292,95 \cdot 1,9276 \cdot 94,1 = 53137$ кДж
1.2 Волога м'ятки 53690 кДж	1.1 Волога м'ятки $Q_5 = m_g c_g t_1 = 20,7010 \cdot 4,19 \cdot 94,1 = 8162$ кДж
2. Тепло, що вноситься гострою парою $Q_3 = i_{II} D = 2769 \cdot D$	2. Тепло, що забирає конденсат гострої пари $Q_6 = 694,3 \cdot D$
	3. Тепло, що забирає волога, що випаровується $Q_7 = i \cdot m_{вс} = 2640,1 \cdot 2,7094 = 7232,5$ кДж де $i = 2659,4$ кДж/кг питомий тепловміст пари при $t = 94,1^\circ\text{C}$

Продовження таблиці 5.8

1	2
	4. Тепловтрати візьмемо рівними 3% від Q_3 : $Q_8 = 0,03 \cdot 2769D = 83,07D$
Разом $58722,8+2769D$	$68531,5+777,37D$

Прирівнюємо ліву та праву частини теплового балансу

$$58722,8 + 2769D = 6853,5 + 777,37D$$

Переносимо в один бік члени, що описують кількість необхідної пари, а в інший – баланс тепла.

$$6853,5 \cdot 58722,8 = (2769 - 777,37)D$$

$$9812,2 = (2769 - 777,37)D$$

$$u_s = \frac{W}{100 - W} = \frac{9}{100 - 9} \approx 0,07\%$$

Уточнимо кількість тепла, що проходить через поверхню нагріву днища четвертого чану жаровні за рівнянням Фур'є. Визначимо середню різницю температур процесу:

$$\Delta t_1 = 164,2 - 88,6 = 75,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = 164,2 - 94,1 = 70,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Так як $\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{75,6}{70,1} < 2$, то можна середню різницю температур обчислити за

спрощеною формулою

$$\Delta t_{cp} = t_s - \frac{t_1 + t_2}{2} = 164,2 - \frac{88,6 + 94,1}{2} = 72,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Згідно рівнянню Фур'є

$$Q_1 = F \cdot K \Delta t_{cp} \tau = 3,7994 \cdot 196,547 \cdot 72,85 \cdot 600 = 32484000 \text{ Дж} = 32484 \text{ кДж}$$

Порівнюємо можливу кількість тепла, що проходить крізь поверхню нагріву четвертого чану з потрібним теплом для виконання завданого режиму

$$32484-9812,2=22672 \text{ кДж}$$

Маса випаровуваної вологи в п'ятому чані складає 2,7097 кг. Ця маса складе кількості речовини м'ятки $2709,7:18=150,5389$ моль. Таким чином, при питомому вологовмісті м'ятки $u_3 = 0.007$ кг і її температурі 94.1°C , енергія зв'язку вологи з м'яткою насіння рицини складе $2672/150,5389 \approx 150,6$ кДж/моль.

Розрахунок шостого чану жаровні

Таблиця 5.9

Матеріальний та тепловий баланс шостого чану жаровні

Надходження, кг	Витрати, кг
1	2
Матеріальний баланс шостого чану жаровні	
1. М'ятка вологістю 6,6 % 313,6510 кг 1.1 Суха олійна речовина м'ятки	1. М'ятка вологістю 5,8 % $\frac{292,95 \cdot 95}{100 - 5,8} \cdot 100 = 310,9873$ кг 1.1 Суха олійна речовина м'ятки 292,95 кг
292.95 кг 1.2 Волога м'ятки $313.6510 - 292.95 = 20.7010$ кг	1.2 Волога м'ятки $310,9873 - 292,95 = 18,0373$ кг
2. Гостра пара D	2. Конденсат гострої пари D
	3. Випарувана волога $20.7010 - 18.0373 = 2.6637$ кг
Разом: $313,6510 + D$	$313,6510 + D$
Тепловий баланс шостого чану жаровні	
1. Тепло, що вносить м'ятка 61299 кДж Суха олійна речовина м'ятки	1. Тепло, що забирає м'ятка 63770.4 кДж 1.1 Суха олійна речовина м'ятки

Продовження таблиці 5.9

1	2
$Q_1 = m_c c_c t_2 = 292,95 \cdot 1,9276 \cdot 94,1 = 53137 \text{ кДж}$	$Q_4 = m_c c_c t_2 = 292,95 \cdot 1,9276 \cdot 99,6 = 56243 \text{ кДж}$
1.2 Волога м'ятки	1.2.Волога м'ятки
$Q_1 = m_g c_g t_1 = 20,7010 \cdot 4,19 \cdot 94,1 = 8162 \text{ кДж}$	$Q_5 = m_g c_g t_1 = 18,0373 \cdot 4,19 \cdot 99,6 = 7527,4 \text{ кДж}$
2. Тепло, що вноситься гострою парюю $Q_3 = i_{\text{п}} D = 2769 \cdot D$	2. Тепло, що забирає конденсат гострої пари $Q_6 = 694,3 \cdot D$
	3. Тепло, що забирає волога, що випаровується $Q_7 = i \cdot m_{\text{вв}} = 2678,36 \cdot 2,8837 = 7134,3 \text{ кДж}$ де $i = 2678,6 \text{ кДж/кг}$ питомий тепловміст пари при $t = 99,6^\circ\text{C}$
	4. Тепловтрати візьмемо рівними 3% від $Q_3 : Q_8 = 0,03 \cdot 2769D = 83,07D$
Разом $61299+2769D$	$70904,7+777,37D$

Прирівнюємо частину надходження та частину витрати теплового балансу

$$61299+2769D = 70904,7 + 777,37D$$

Переносимо в один бік члени, що описують кількість необхідної пари, а в інший – баланс тепла

$$71028-61299=(2769-777,37)D$$

$$9605,7=(2769-777,37)D$$

$$u_2 = \frac{5,8}{100-5,8} \approx 0,06\%$$

Уточнимо кількість тепла, що проходить через поверхню нагріву днища четвертого чану жаровні за рівнянням Фур'є. Визначимо середню різницю температур процесу:

$$\Delta t_1 = 164,2 - 94,1 = 70,1^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = 164,2 - 99,6 = 64,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Так як $\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{70,1}{64,6} < 2$, то можна середню різницю температур обчислити за

спрощеною формулою

$$\Delta t_{cp} = t_s - \frac{t_1 + t_2}{2} = 164,2 - \frac{94,1 + 99,6}{2} = 67,35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Згідно рівняння Фур'є

$$Q_1 = F \cdot K \Delta t_{cp} \tau = 3,7994 \cdot 196,547 \cdot 67,35 \cdot 600 = 30177000 \text{ Дж} = 30177 \text{ кДж}$$

Порівнюємо можливу кількість тепла, що проходить крізь поверхню нагріву четвертого чану з потрібним теплом для виконання завданого режиму

$$30177 - 9605,7 = 20571 \text{ кДж}$$

Маса випаровуваної вологи в п'ятому чані складає 2,6637 кг. Ця маса складе кількості речовини м'ятки $2663,7 : 18 = 148$ моль. Таким чином, при питомому вологовмісті м'ятки $u_3 = 0.006$ кг і її температурі $99,6^\circ \text{C}$ енергія зв'язку вологи з м'яткою насіння рицини складе $20571 / 148 \approx 139$ кДж/моль.

Розрахунок сьомого чану жаровні

Таблиця 5.10

Матеріальний та тепловий баланс сьомого чану жаровні

Надходження	Витрати
Матеріальний баланс сьомого чану жаровні	
1. М'ятка вологістю 5.8 % 310.9873 кг	1. М'ятка вологістю 5.0 % $\frac{292,95 \cdot 95}{100 - 5} \cdot 100 = 308,3684$ кг
1.1 Суха оліна речовина м'ятки 292,95 кг	1.1 Суха олійна речовина м'ятки 292,95 кг
1.2 Волога м'ятки 18.0373 кг	1.2 Волога м'ятки $308.3684 - 292.95 = 15,4184$ кг

Продовження таблиці 5.10

1	2
2. Гостра пара D	2. Конденсат глухої пари D
	3. Випарувана волога $m_{\text{ви}}$ $18.0373 - 15.4184 = 2.6189$ кг
Разом: $310.9873 + D$	$310.9873 + D$
Тепловий баланс сьомого чану жаровні	
1. Тепло, яке вносить м'ятка 63770.4 кДж	1. Тепло, яке забирає м'ятка 66075.3 кДж
1.1 Суха олійна речовина м'ятки $Q_1 = m_c c_c t_1 = 292,95 \cdot 1,9276 \cdot 99,6 = 56243$ кДж	1.1 Суха олійна речовина м'ятки $Q_1 = m_c c_c t_2 = 292,95 \cdot 1,9276 \cdot 105 = 59292$ кДж
1.2 Волога м'ятки $Q_1 = m_g c_g t_1 = 18,0373 \cdot 4,19 \cdot 99,6 = 7527,4$ кДж	1.2 Волога м'ятки $Q_1 = m_g c_g t_1 = 15,4184 \cdot 4,19 \cdot 105 = 6783,3$ кДж
2. Тепло, яке вносить гостра пара: $Q_3 = i_{\text{п}} D = 2769 \cdot D$	2. Тепло, яке забирає конденсат гострої пари: $Q_6 = 694.3 \cdot D$
	3. Тепло, що забирає випарувана волога $Q_7 = i \cdot m_{\text{гг}} = 2678 \cdot 2,6189$ кДж де $i = 2687$ кДж/кг питомий тепловміст пари при $t = 105^\circ\text{C}$
	4. Тепловтрати прийемо рівними 3% від Q_3 : $Q_8 = 0,03 \cdot 2769 D = 83,07 D$
Разом $63770 + 2769 D$	$73112.3 + 777.37 D$

Прирівнюємо частину надходження та частину витрати теплового балансу

$$63770 + 2769D = 73112.3 + 777.37 D$$

Переносимо в один бік члени, що описують кількість необхідної пари, а в інший – баланс тепла

$$73112.3 - 63770 = (2769 - 777.37) D$$

$$9342/3=(2769-777.37)D$$

$$u_2 = \frac{5}{100-5} \approx 0,05\%$$

Уточнимо кількість тепла, що проходить через поверхню нагріву днища четвертого чану жаровні за рівнянням Фур'є. Визначимо середню різницю температур процесу:

$$\Delta t_1 = 164,2 - 99,6 = 64,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = 164,2 - 105 = 59,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Так як $\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{64,5}{59,2} < 2$, то можна середню різницю температур обчислити

за спрощеною формулою

$$\Delta t_{cp} = t_5 - \frac{t_1 + t_2}{2} = 164,2 - \frac{99,6 + 105}{2} = 61,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Згідно рівняння Фур'є

$$Q_1 = F \cdot K \Delta t_{cp} \tau = 3,7994 \cdot 196,547 \cdot 61,9 \cdot 600 = 27735000 \text{ Дж} = 27735 \text{ кДж}$$

Порівнюємо можливу кількість тепла, що проходить крізь поверхню нагріву четвертого чану з потрібним теплом для виконання завданого режиму

$$27735 - 9342 = 18393 \text{ кДж}$$

Маса випаровуваної вологи в п'ятому чані складає 2,6189 кг. Ця маса складе кількості речовини м'ятки $2618,9:18=145,5$ моль. Значить при питомому вологовмісті м'ятки $u_3 = 0,007$ кг і її температурі 105°C енергія зв'язку вологи з м'яткою насіння рицини складе $18393/145,5 \approx 126,4$ кДж/моль.

Порівняємо вибрані параметри експериментальної семічанної жаровні з шестичанною жаровнею форпрессового агрегату ФП. Шестичанна жаровня складається з шести чанів з внутрішнім діаметром 2200 мм, висотою 430 мм, із загальною площею поверхні нагріву $22,4 \text{ м}^2$ з частотою обертання ножів

мішалки 21 - 23 об/хв. Жаровня комплектується двома форпресами ФП, продуктивністю 60 т / добу кожен.

Експериментальна семичанна жаровня з внутрішнім діаметром 1м, площею нагріву одного чану 0,785 м², або загальною площею нагріву 5.495 м², тобто в 4 рази менше, ніж в жаровні пресового агрегату ФП. Розрахована на продуктивність 15 т/добу, тобто в 120/15 = 8 разів менше ніж агрегат ФП. Таким чином питома продуктивність експериментальної жаровні вище питомої продуктивності агрегату ФП. Таким чином експериментальна жаровня при досягненні вмісту вологи м'ятки 0,09 кг/кг і нижче повинна краще забезпечувати витрати енергії на розрив вологи зі скелетом м'ятки.

Визначимо витрати енергії на розрив зв'язку вологи в м'ятці насіння рицини в останніх п'яти чанах семічанної жаровні, згідно даних Л.Н. Нікітіної:

$$\Sigma E = M \cdot E = [32044, 22701, 47647, 40874, 43341] \text{ кДж}$$

Наведені розрахунки є проміжним етапом чисельних досліджень вологотеплової обробки м'ятки насіння рицини. Розроблена методика визначення залежності енергії зв'язку вологи з оброблюваною м'яткою від питомого вологовмісту та технологічних режимів процесу сушіння в кожному чані багаточанної жаровні. Запропонована методика дозволила поглибити вивчення процесу жаріння м'ятки в багаточанній жаровні та визначити число чанів в жаровні та їх раціональні технологічні режими.

5.2.2. Методика розрахунку гвинтового преса

Під продуктивністю гвинтового преса розуміється кількість олійного матеріалу, що переробляється в одиницю часу. Через складність явищ, що відбуваються в зєрному барабані при пресуванні, і недостатньою їх вивченістю до теперішнього часу немає повної теорії гвинтових пресів. Однак деякі дослідження в цьому відношенні представляють певний інтерес.

Механізм переміщення частинок пресованого матеріалу від місця надходження в зерний барабан до вихідної кільцевої щілини розподілений [204,205]. При обертанні гвинтового вала рушійна поверхня витків, вступаючи в зіткнення з частинками матеріалу, здійснює на них тиск, який передається сусіднім частинкам, що не перебувають в даний момент в безпосередньому зіткненні з витками. Матеріал під впливом гвинта отримує два рухи: поступальний уздовж осі гвинта і обертальний навколо осі гвинта (разом з гвинтом). Додавання цих рухів могло б дати рух по спіралі, проте матеріал утримується від обертання, в основному, силами тертя частинок по внутрішній поверхні зерного барабана і опором спеціальних напрямних ножів, що входять в розрив між витками, а також опором виступаючих кутів зерних колосників на внутрішній поверхні зерного барабана. Все ж відбувається деяке проходження матеріалу по колу, але поступальний рух матеріалу вперед уздовж осі гвинта зберігається.

У місцях розривів між витками порушується шлях просування частинок мезги, що обумовлюють до розривів гвинтової поверхні суцільних витків.

Маса пресованого матеріалу просувається передніми поверхнями витків в просторі кільцевого перерізу. Цей перетин обмежений з одного боку поверхнею маточини витків і проміжних кілець і з іншого боку - внутрішньою поверхнею зерного барабана. Пресований матеріал просувається до кінця зерного барабана і потім виходить під дією створеного тиску через вихідну кільцеву щілину у вигляді макухової ракушки. В ході просування можливий і деякий зворотний рух частини матеріалу в наявні незначні зазори між зовнішньою кромкою витків і внутрішньою поверхнею зерного барабана, що гальмує поступальний рух матеріалу.

У робочому просторі зерного барабана відбувається, поряд з проштовхуванням матеріалу вперед, так само і його ущільнення, що зростає в міру просування до виходу кільцевої щілини. Спочатку ущільнення матеріалу йде за рахунок зменшення проміжків між частинками, вжимання одних частинок в проміжки між іншими. Причому збільшується число і поверхня

контактів між частинками. Відбувається пластична деформація самих частинок, що приводить до зближення внутрішніх поверхонь (всередині частинок), з'єднанню часток один з одним і утворення внаслідок цього більш-менш ламкого брикету макухи. В результаті ущільнення пресованого матеріалу відбувається віджимання олії. Інтенсивність витікання олії через поздовжні щілини між колосниками зерного барабана неоднакова по довжині зєєра. Це залежить від властивостей матеріалу і конструкції преса.

При подальшому підвищенні тиску зростає деформація гелевої частини частинок і деякі капіляри запресовуються, з частково олією, що залишилася. Олія, що залишилася в запресованих капілярах, і олія, що залишилась в незруйнованих клітинах, визначає залишковий уміст олії в макусі.

Виділення олії з мезги - це процес, що відбувається в часі: чим більше мезга перебуває в зєєрі, тобто чим більше часу буде діяти на неї тиск, тим більш тривалий період олія буде стікати, тим нижче буде олійність ракушки. Це положення добре узгоджується з практикою роботи пресів: зі зменшенням частоти обертання гвинтового вала зменшується олійність ракушки. Час проходження мезги по зєєру можна орієнтовно розрахувати в залежності від частоти обертання гвинтового валу, довжини кожного витка і довжини настановних втулок. Однак фактично час знаходження мезги в зєєрі більше розрахункового, так як частина мезги ніби повертається назад під дією протитиску, створюваного регулювальним пристроєм. А.М. Голдовський отримав наступні дані про перебування мезги в зєєрному барабані пресу.

Таблиця 5.11

Залежність олійності пелюстки від частоти обертання гвинтового вала

Кутова швидкість оберту гвинтового вала, об/хв	Олійність пелюстки на абсолютно суху речовину, %
27	17,6
21	16,8
13	12,7

Щоб визначити продуктивність гвинтового преса, потрібно з'ясувати характер руху мезги в зеєрі. Дослідження Г.В. Зарембо [207] підтвердили висловлювання А.М. Голдовського, що деяка кількість мезги все ж повертається зі шнековим валом.

В.А. Масліков вивів формулу для визначення продуктивності гвинтового преса в масових одиницях (кг/год) в наступному вигляді [190,191]:

$$Q = 3600 \frac{\pi D_3^2}{4} L \frac{n}{60} (1 - \psi) \rho, \quad (5.7)$$

де Q – продуктивність преса, кг/год;

D_3 – внутрішній діаметр зеєра, м;

L – довжина витка, м;

n – кутова швидкість оберту гвинтового вала, об/хвил;

ρ – об'ємна маса мезги, кг/м³;

ψ – коефіцієнт заповнення:

$$\psi = \frac{\text{об'єм витка}}{\text{об'єм зеєрної камери}} \quad (5.8)$$

Коефіцієнт заповнення має різну величину для пресів різних типів і залежить тільки від конструкції преса.

Коефіцієнт заповнення ψ для розрахунку гвинтових пресів приймається рівним 1 (тобто вільний об'єм витка повністю заповнений).

Щілина і відкритий центральний кут обумовлюють перехід пресованої мезги через нитку витка. Для обліку цих явищ введемо в рівняння коефіцієнт повернення K_B . Цей коефіцієнт показує, яка частина мезги від загальної течії переходить через нитку витка. Отже, рівняння для продуктивності гвинтового преса можна записати в такому вигляді [4,5]:

$$Q = 47.1D_3^2 \text{Ln}(1 - \psi) \rho(1 - K_B). \quad (5.9)$$

Коефіцієнт повернення відображає реологічні властивості пресованої мезги і умови, в яких відбувається пресування. Тому коефіцієнт повернення не може залишатися постійною величиною; він буде змінюватися зі зміною якості мезги, що надходить і режиму роботи преса. Таким чином, формула продуктивності гвинтового преса може бути записана в такому вигляді [4,5]:

$$Q = A(1 - K_B), \quad (5.10)$$

де A – деяка величина, що відображає продуктивність преса в залежності від його конструкційних розмірів і об'ємної маси матеріалу.

Так як мезга в першому наближенні може розглядатися як дуже в'язка рідина, то можна проаналізувати перебіг її всередині зеєра з точки зору гідродинаміки.

Як впливає з формули для продуктивності гвинтового преса, при його роботі всередині зеєра виникають дві течії: один - вимушений потік, викликаний обертанням гвинтового вала і спрямований уздовж гвинтового каналу (Q_1); другий - протитечія, викликаний, градієнтом тиску, що з'являються в результаті протитиску і виходить з преса ракушки.

Другий потік може бути розділений на декілька течій: протитечія вздовж гвинтового каналу, викликаний градієнтом тиску (Q_2); протитечія в зазорі між вершиною нитки внутрішньої поверхнею зеєра (Q_3); протитечія в кут розриву нитки витка, що викликається також градієнтом тиску (Q_4).

Таким чином, продуктивність гвинтового преса може бути записана в такому вигляді [4,5,254]:

$$Q = Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4. \quad (5.11)$$

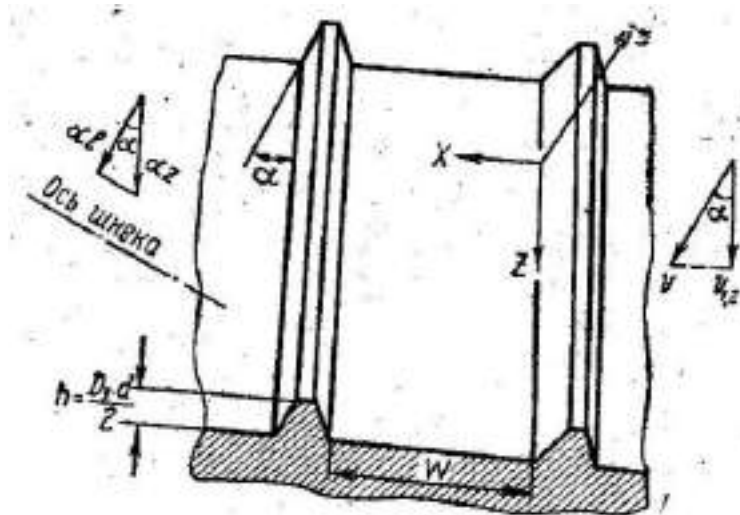


Рис. 5.7. До висновку рівняння коефіцієнта повернення.

Так як швидкості вимушеного течії і протитечії спрямовані уздовж гвинтового каналу, то будемо шукати рішення для сумарної одновимірної течії.

Для знаходження поля швидкостей цієї течії скористаємося рівнянням Нав'є - Стоку і застосуємо метод, який використовується при вивченні екструдерів, тобто звернений рух гвинта і зеєра. При зверненому русі, тобто, коли розглядається нерухомий розгорнутий виток і рухається над ним зеєр, значно спрощуються викладки.

Через малі швидкості руху мезги нехтуємо масовими і інерційними силами. Тому рівняння Нав'є - Стокса спроститься, і для одновимірної течії може бути записано у вигляді [2,4,5,254,255]:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \mu \left(\frac{\partial^2 v_{1,2}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_{1,2}}{\partial y^2} \right). \quad (5.12)$$

де $v_{1,2}$ – швидкість результуючої течії уздовж каналу витка, м/с;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості мезги, Па·с;

p – тиск, Па;

x, y, z – поточні координати.

При перебігу мезги в каналі швидкість $v_{1,2}$ вдовж осі x змінюється незначно, і знижується ця швидкість тільки під стінами каналу, тобто при $x = 0$ и $x = b$ (b – ширина гвинтового каналу). Таким чином, рівняння Нав'є - Стокса приймає вид:

$$\frac{d^2 v_{1,2}}{dy^2} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dz}, \quad (5.13)$$

Інтегруючи це рівняння двічі по y , отримуємо:

$$v_{1,2} = \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dz} y^2 + C_1 y + C_2, \quad (5.14)$$

де C_1 и C_2 – постійні інтегрування, значення яких визначається з граничних умов: при $y = 0$ та $v_{1,2} = 0$ $C_2 = 0$.

При величині y , рівній глибині каналу, тобто при $y = h = \frac{D_3 - d}{2}$, швидкість результуючої течії

$$v_{1,2} = v \cos \alpha = \pi D_3 n \cos \alpha, \quad (5.15)$$

де α – кут підйому нитки витка;

n – кутова швидкість обертання гвинтового вала, об / хв;

v – відносна швидкість обертання зерного барабана, м/с;

D_3 та d – діаметр зеєра та ступиці витка, м;

h – висота нитки витка, м.

Підставляючи граничні умови при $C_2 = 0$:

$$\pi D_3 n \cos \alpha = \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dz} \left(\frac{D_3 - d}{2} \right)^2 + C_1 \frac{D_3 - d}{2}. \quad (5.16)$$

З формули (5.16) отримуємо постійну інтегрування C_1

$$C_1 = \frac{2\pi D_3 n \cos \alpha}{D_3 - d} - \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dz} \frac{D_3 - d}{2}. \quad (5.17)$$

Підставляючи постійні інтегрування в рівняння (5.15), отримуємо розподіл швидкості результуючої течії мезги по глибині каналу:

$$v_{1,2} = \frac{v}{h} y - \frac{1}{2\mu} (hy - y^2) \frac{dp}{dz}. \quad (5.18)$$

Величина результуючої течії ($\text{м}^3/\text{с}$)

$$Q_{1,2} = \int_F v_{1,2} dF, \quad (5.19)$$

де F – площа поперечного перерізу гвинтового каналу, м^2 .

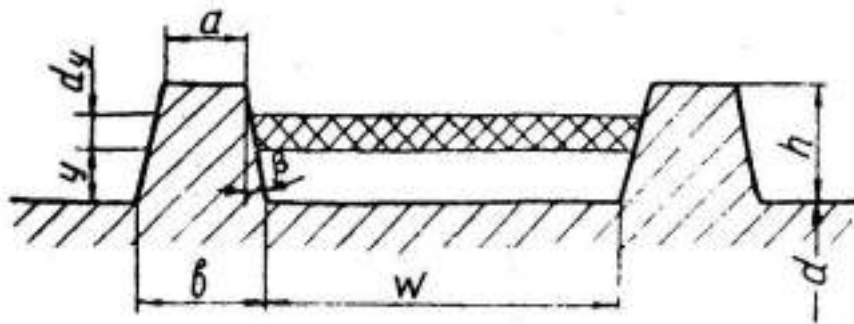


Рис. 5.8. Схема поперечного перерізу гвинтового каналу

Для визначення площі поперечного перерізу каналу при трапецеїдальній формі нитки виділимо його в поперечному перерізі (рис.4.11) на відстані y від основи полоски шириною dy . Елементарна площа цієї смужки:

$$dF = W_1(y) dy, \quad (5.20)$$

де $W_1(y)$ – ширина каналу на відстані y від її основи, дорівнює $[(t-b) + 2tg\beta y] \cdot \cos\alpha$, м;

t – крок нитки витка, м;

b – ширина нитки у основи, м;

β – кут нахилу грані нитки, град.

Позначимо $(t-b)\cos\alpha = W$ – ширина каналу біля основи, тоді:

$$dF = (W + 2tg\beta y \cos\alpha) dy. \quad (5.21)$$

Так як площа поперечного перерізу каналу є функцією яка змінюється від 0 до h , то рівняння (5.21) можна написати в такому вигляді [190,191]:

$$Q_{1,2} = \int_F v_{1,2} dF = \int_F v_{1,2} (W + 2tg\beta y \cos\alpha) dy \quad (5.22)$$

Підставляючи в формулу (5.22) значення $v_{1,2}$ з формули (5.18), отримано:

$$\begin{aligned} Q_{1,2} &= \int_0^h \left[\left(\frac{v}{h} y - \frac{hy - y^2}{2\mu} \frac{dp}{dz} \right) (W + 2tg\beta y \cos\alpha) \right] dy = \\ &= \frac{vWh}{2} + \frac{2}{3} vtg\beta \cos\alpha h^2 - \left(\frac{1}{12\mu} W \frac{dp}{dz} h^3 + \frac{1}{12\mu} \frac{dp}{dz} tg\beta \cos\alpha h^4 \right). \end{aligned} \quad (5.23)$$

$$\begin{aligned} Q_{1,2} &= \frac{vWh}{2} + \frac{2}{3} vtg\beta \cos\alpha h^2 - \\ &- \left(\frac{Wh^3 \sin\alpha}{12\mu} + \frac{h^4 tg\beta \cos\alpha \sin\alpha}{12\mu} \right) \frac{dp}{dl}. \end{aligned} \quad (5.24)$$

У формулі (5.24) перші два доданки є вимушеними течіями, що залежать від конструкційних розмірів преса, що було позначено Q_1 . Два інших доданки є

протитечіями, позначеними як Q_2 і залежать від градієнта тиску $\frac{dp}{dl}$, змінного в залежності від положення регулювального конуса. Отже,

$$Q_2 = \left(\frac{Wh^3 \sin \alpha}{12\mu} + \frac{h^4 \operatorname{tg} \beta \cos \alpha \sin \alpha}{12\mu} \right) \frac{dp}{dl}. \quad (5.25)$$

Величину протитечії в зазорі між ниткою витка і внутрішньою поверхнею зеєра для екструдерів досліджував Г. Шенкель [208] стосовно до пресування пластмас. Шенкель розглядає щілину, що утворилася між ниткою витка і внутрішньою поверхнею зеєра, в яку під дією градієнта тиску $\frac{dp}{dl}$ тече в'язка рідина. При використанні для цього випадку тих же рівнянь Нав'є - Стокса і при розгляді їх як одновимірної задачі Шенкелем отримано розрахункове рівняння для величини протитечії:

$$Q_3 = \frac{\pi^2 D_3^2 \delta^3 \operatorname{tg} \alpha}{12\mu a} \frac{dp}{dl}. \quad (5.26)$$

де δ – ширина зазору між вершинами нитки і внутрішньої поверхнею зеєра, м;

a – ширина верхньої частини нитки, м.

Крок нитки на витку виконаний в повному об'ємі. Тому утворюється кут розриву, в який проходить частина мезги, утворюючи ще одну протитечію. Дослідження В.А. Маслікова і П.І. Чечевицина показали, що величина цієї протитечії [191]:

$$Q_4 = \frac{\theta_1 (D_3^2 - d^2)}{128\mu \ln \frac{D}{d}} \left[\left(D_3^2 \ln \frac{d}{2} - d^2 \ln \frac{D_3}{2} \right) + \frac{D_3^2 + d^2}{2} \ln \frac{D_3}{d} + \right. \\ \left. + \left(D_3^2 \ln \frac{D_3}{2} - d^2 \ln \frac{d}{2} \right) - \frac{1}{2} (D_3^2 - d^2) \right] \frac{dp}{dl}, \quad (5.27)$$

де θ_l – кут розриву нитки.

Таким чином, продуктивність преса може бути визначена

$$Q = Q_1 \left(1 - \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4}{Q_1} \right), \quad (5.28)$$

Так як відношення суми протитечій до вимушеної течії є коефіцієнтом повернення K_B , то продуктивність гвинтового преса

$$Q = Q_1 (1 - K_B). \quad (5.29)$$

Неважко помітити, що коефіцієнт повернення складається з суми трьох коефіцієнтів:

$$K_B = K_2 + K_3 + K_4, \quad (5.30)$$

де $K_2 = \frac{Q_2}{Q_1}$ – відношення протитечії уздовж гвинтового каналу до вимушеної течії;

$K_3 = \frac{Q_3}{Q_1}$ – відношення протитечії через нитку до вимушеної течії;

$K_4 = \frac{Q_4}{Q_1}$ – відношення протитечії до кута розриву нитки до вимушеної течії.

Таким чином, кожна з цих течій - це відношення однієї протитечії до вимушеної течії. Якщо підставити в ці рівності значення відповідних течій, то отримаємо розрахункові рівняння для обчислення складових частин коефіцієнта повернення:

$$K_2 = \frac{h^2 \sin \alpha (W + htg\beta \cos \alpha)}{2\mu v (3W + 4htg\beta \cos \alpha)} \frac{dp}{dl}; \quad (5.31)$$

$$K_3 = \frac{\pi^2 D_3^2 \delta^3 tg \alpha}{2\mu v a h (3W + 4htg\beta \cos \alpha)} \frac{dp}{dl}; \quad (5.32)$$

$$K_4 = \frac{3\theta_1 (D_3^2 - d^2)}{64\mu \ln \frac{D_3}{d} v h (3W + 4htg\beta \cos \alpha)} \left[\left(D_3^2 \ln \frac{d}{2} - d^2 \ln \frac{D_3}{2} \right) + \right. \\ \left. + \frac{D_3^2 + d^2}{2} \ln \frac{D_3}{d} + \left(D_3^2 \ln \frac{D_3}{2} - d^2 \ln \frac{d}{2} \right) - \frac{D_3^2 - d^2}{2} \right] \frac{dp}{dl}. \quad (5.33)$$

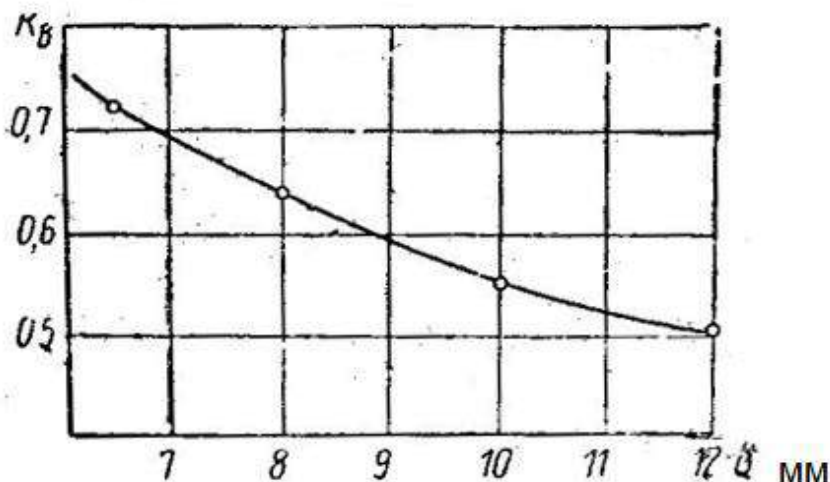


Рис. 5.9. Залежність коефіцієнта повернення від ширини вихідної щілини [4]

В даний час обчислити наведені коефіцієнти неможливо через відсутність таких величин, як в'язкість мезги і градієнт тиску; проте коефіцієнт повернення легко визначається експериментально-розрахунковим шляхом.

І.П. Колпаков [206] визначив продуктивність форпресу ФП, що працює на соняшниковому насінні, в залежності від частоти обертання гвинтового вала

при незмінній ширині вихідної щілини. Обробка цих даних дозволила отримати залежність від частоти обертання гвинтового вала [190]:

З графіка видно, що ця залежність є лінійною, паралельною осі абсцис. Це означає, що практично K_B не залежить від частоти обертання гвинтового вала. Тому коефіцієнт повернення є функцією однієї змінної - ступеня затиснення конуса, тобто $K_B = f(\delta)$.

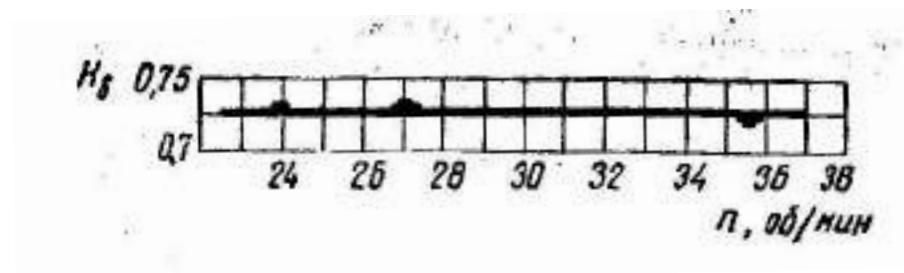


Рис. 5.10. Залежність коефіцієнта повернення від частоти обертання гвинтового вала

При дослідженні було встановлено, що коефіцієнт повернення різко змінюється при зміні ширини вихідної щілини. Обробка даних А.М. Голдовського для бавовняного насіння [204,205], І.П. Колпакова і В.А. Маслікова [201, 206] для соняшникового насіння дозволила В.А. Маслікову знайти цю залежність. Виявилось, що дана залежність криволінійна і являє собою спадну криву, яка асимптотично наближається до осі абсцис (рис. 5.10). Коефіцієнт повернення змінюється від 0,725 до 0,506 при зміні ширини вихідної щілини від 6 до 12 мм. При математичній обробці отриманих дослідних даних отримано емпіричне рівняння для обчислення коефіцієнта повернення преса ФП [4,5]:

$$K_B = \frac{2.15}{\delta^{0.58}}, \quad (5.34)$$

де δ – ширина вихідної щілини, мм.

Можна визначити продуктивність преса по надходженню мезги. Якщо ж до цього рівняння ввести вихід з мезги насіння, то отримаємо продуктивність преса по насінню (кг / год):

$$Q = \frac{4710D_3^2 L n (1 - \psi) \rho (1 - K_B)}{B_M}. \quad (5.35)$$

де B_M – вихід мезги з насіння, %.

Таким чином аналіз отриманих залежностей дозволить констатувати:

При зменшенні коефіцієнта повернення продуктивність преса підвищується. Це може бути досягнуто при справному стані витків і ножів і при зменшенні вихідного опору за рахунок збільшення ширини вихідної щілини.

Збільшення частоти обертання гвинтового вала також підвищує продуктивність преса. якщо величину a , що може мати вираз:

$$\frac{4710D_3^2 L (1 - \psi) \rho (1 - K_B)}{B_M} = a \quad (5.36)$$

то формула для визначення продуктивності преса набуде вигляду:

$$Q = an. \quad (5.37)$$

На графіку це рівняння дасть пряму, що проходить через початок координат з кутом нахилу $arctga$. Отже, продуктивність преса лінійно змінюється при зміні частоти обертання валу преса. У такій же залежності знаходиться продуктивність преса і від об'ємної маси і від величини $(1 - K_B)$.

Визначити продуктивність преса в залежності від коефіцієнта повернення, який безпосередньо заміряти неможливо. Тому зручніше користуватися залежністю виду:

$$Q = f(\delta). \quad (5.38)$$

Така залежність для преса ФП показана на рис. 5.11, де криві продуктивності нанесені при різних кутових швидкостях обертання гвинтового вала. Цей графік дозволяє встановити продуктивність преса по меззі в залежності від вихідної щілини і частоти обертання гвинтового вала.

Для остаточного встановлення режиму роботи преса потрібно врахувати і якісну сторону процесу, тобто олійність одержуваної пелюстки.

Можна рекомендувати режими, які забезпечують малу частоту обертання гвинтового вала і велику товщину пелюстки, так як при таких режимах витрата енергії на роботу преса найменша.

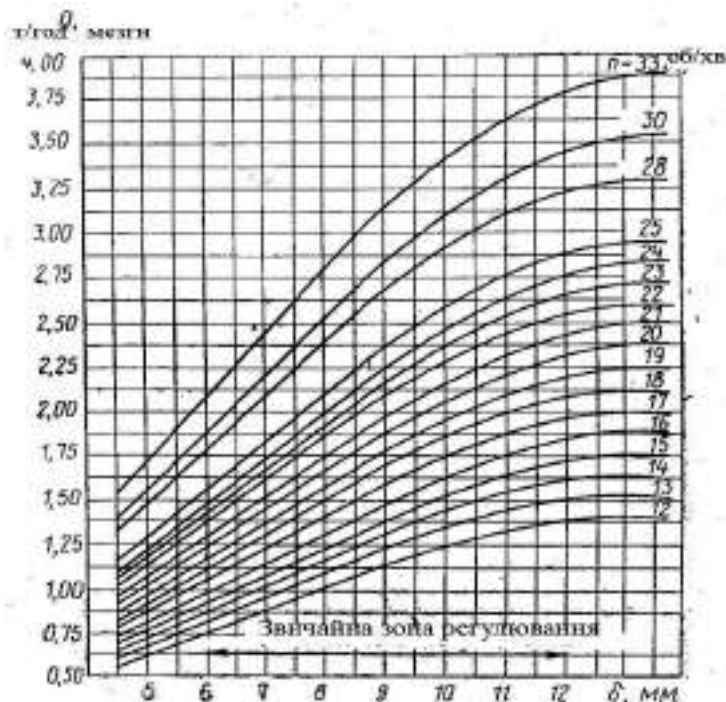


Рис. 5.11. Продуктивність гвинтового преса типу ФП в залежності від частоти обертання гвинтового валу і ширини вихідної щілини пресу

Взагалі при експлуатації пресів продуктивність їх може бути змінена тільки шляхом регулювання частоти обертання валу і коефіцієнта повернення. Решта змінних для даної конструкції пресу є величинами постійними.

Регулювати продуктивність зміною частоти обертання гвинтового вала слід тільки в крайньому випадку. Пояснюється це тим, що при збільшенні швидкості вала збільшується потужність, необхідна для роботи преса, і зменшується час перебування мезги в пресі, що підвищує олійність пелюстки.

Для зменшення продуктивності преса вигідніше змінювати коефіцієнт повернення, тобто ширину вихідної щілини. В цьому випадку перебування мезги в пресі збільшується. Отже, олійність пелюстки зменшується.

5.2.3. Розрахунок експериментального форпреса продуктивністю 625 кг/год преса для малотоннажного виробництва

Експериментальний форпрес продуктивністю 625 кг / год створюємо подібним форпресу ФП. Приймаємо ширину вихідної щілини від 6 до 12 мм.

При ширині щілини $\delta = 6$ мм коефіцієнт повернення.

$$K_B = \frac{2.15}{6^{0.58}} = 0,7605$$

При $\delta = 10$ мм

$$K_B = \frac{2.15}{10^{0.58}} = 0,5655$$

При $\delta = 12$ мм

$$K_{b12} = 2.15/12^{0.58} = 0.5088$$

Величина A , яка відображає продуктивність преса в залежності від його конструкційних розмірів і об'ємної маси матеріалу, змінюється наступним чином:

$$A_6 = Q / (1 - K_{B6}) = 625 / (1 - 0.7605) = 2609.6 \text{ кг/год}$$

$$A_{10} = Q / (1 - K_{B10}) = 625 / (1 - 0.5655) = 1438.4 \text{ кг/год}$$

$$A_{12} = Q / (1 - K_{B12}) = 625 / (1 - 0.5088) = 1272.4 \text{ кг/год}$$

де продуктивність преса в масових одиницях, кг/ГОД

$$Q = 3600 \frac{\pi D_3^2}{4} L (1 - \psi) \rho, \quad (5.39)$$

де D_3 – діаметр приймального витка, м, L – довжина витка, м, ρ – об'ємна маса мезги насіння рицини $\rho = 535 \text{ кг/м}^3$.

Частоту обертів гвинтового вала замінюємо окружною швидкістю приймального витка форпреса ФП

$$V_{\text{окр}} = \frac{S}{t} = \frac{\pi D_3}{t} = \frac{\pi D_3 \cdot n}{60}. \quad (5.40)$$

де S – внутрішня довжина кола приймального витка, t – час одного обороту гвинтового вала, с.

$$\begin{aligned} A &= 3600 \frac{\pi D_3^2}{4} L n (1 - \psi) \rho = 900 \cdot \pi \cdot D_3^2 L \frac{60 V_{\text{окр}}}{\pi D_3 60} (1 - \psi) \rho = \\ &= 900 D_3 L V_{\text{окр}} (1 - \psi) \rho; \end{aligned} \quad (5.41)$$

$$A = 900 D_3 L V_{\text{окр}} (1 - \psi) \rho. \quad (5.42)$$

Для форпреса ФП коефіцієнт заповнення $\psi = 0.312$.

$$900(1 - \psi) = 900(1 - 0.312) = 619.2$$

$$A = 900 D_3 L V_{\text{окр}} (1 - \psi) \rho = 619.2 \cdot D_3 \cdot L \cdot V_{\text{окр}} \cdot \rho, \quad (5.43)$$

$$A = 619.2 \cdot D_3 \cdot L \cdot V_{\text{окр}} \cdot \rho, \quad (5.44)$$

$$D_3 = \frac{A}{619.2 \cdot L \cdot V_{\text{окр}} \cdot \rho} = \frac{0.0016A}{L \cdot V_{\text{окр}} \cdot \rho}, \quad (5.45)$$

$$D_3 = \frac{0.0016A}{L \cdot V_{\text{окр}} \cdot \rho}, \quad (5.46)$$

Діаметр приймального шнека форпреса ФП $D_3 = 0.247 \text{ м}$

Визначимо окружну швидкість на приймальному шнеку ФП

$$V_{окр} = \frac{\pi D_3 \cdot n}{60}, \quad (5.47)$$

При частоті обертання гвинтового вала преса ФП $n = 13$ об/хвил

$$V_{окр} = \frac{\pi D_3 \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0.247 \cdot 13}{60} = 0.1680 \text{ м/с} \quad (5.48)$$

Тоді кутова швидкість обертання гвинтового вала експериментального преса

$$n = \frac{60 \cdot 0.1680}{\pi \cdot 0.15} = 21.4 \text{ об/хв.}$$

При кутовій швидкості обертання гвинтового вала преса ФП $n = 27$ об/хв

$$V_{окр} = \frac{\pi D_3 \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0.247 \cdot 27}{60} = 0.3490 \text{ м/с} \quad (5.49)$$

Тоді кутова швидкість обертання гвинтового вала експериментального преса

$$n = \frac{60 \cdot 0.3490}{\pi \cdot 0.15} \approx 45 \text{ об/хв.}$$

$$\begin{aligned} A &= 619.2 \cdot D_3 \cdot L \cdot V_{окр} \cdot \rho = 619.2 \cdot 1.0526 D_3^2 \cdot V_{окр} \cdot \rho = \\ &= 651.7895 D_3^2 \cdot V_{окр} \cdot \rho. \end{aligned} \quad (5.60)$$

$$A = 651.7895 D_3^2 \cdot V_{окр} \cdot \rho. \quad (5.61)$$

$$D_3 = \sqrt{\frac{A}{651.7895 \cdot V_{окр} \cdot \rho}} = 0.0392 \sqrt{\frac{A}{V_{окр} \cdot \rho}} \quad (5.62)$$

$$D_3 = 0.0392 \sqrt{\frac{A}{V_{окр} \cdot \rho}} \quad (5.63)$$

Проведемо числові дослідження впливу розрахункових діаметрів приймального витка експериментального преса від ширини вихідної щілини і частоти обертання гвинтового вала.

При частоті обертання гвинтового вала експериментального преса 21,4об/хв. При ширині вихідної щілини $\delta = 6$ мм

$$D_3 = 0.0392 \sqrt{\frac{2609.6}{0.1680 \cdot 535}} = 0.2112 \text{ м} \quad (5.64)$$

При ширині вихідної щілини $\delta = 12$ мм

$$D_3 = 0.0392 \sqrt{\frac{1272.4}{0.1680 \cdot 535}} = 0.1475 \text{ м} \quad (5.65)$$

При частоті обертання гвинтового вала експериментального преса 45 об / хв. При ширині вихідної щілини $\delta = 6$ мм

$$D_3 = 0.0392 \sqrt{\frac{2609.6}{0.3490 \cdot 535}} = 0.1465 \text{ м} \quad (5.66)$$

При ширині вихідної щілини $\delta = 12$ мм

$$D_3 = 0.0392 \sqrt{\frac{1272.4}{0.3490 \cdot 535}} = 0.1023 \text{ м} \quad (5.67)$$

Виходячи з отриманих даних, приймаємо діаметр приймального витка $D_3 = 210$ мм. У ФП діаметр приймального витка 250 мм, довжина 230 мм, крок витка 290 мм

Експериментальний прес створюємо подібний форпресу ФП. Тоді лінійні розміри експериментального преса визначаються за лінійним коефіцієнтом подібності

$$K1_{\text{под}} = 0.21/0.25 = 0.84 \quad (5.68)$$

Робочі перетини експериментального преса визначаються за коефіцієнтом подібності, визначеному з квадратичних співвідношень діаметрів приймального витка експериментального преса до його оригіналу пресу ФП

$$K2_{\text{под}} = 0.21^2 / 0.25^2 = 0.7056 \quad (5.69)$$

Довжина приймального витка експериментального преса повинна дорівнювати

$$l_9 = 0.84 \cdot 230 \approx 195 \text{ мм.} \quad (5.70)$$

Діаметр вала

$$d_9 = \sqrt{0,7056 \cdot 122^2} = 102 \text{ мм.} \quad (5.71)$$

Вільний об'єм приймального витка преса ФП $V_{\text{с.о.}} = 7.78 \text{ л}$

Визначимо вільний об'єм експериментального преса:

Об'єм зерної камери

$$V_9 = \frac{\pi D_3^2}{4} l = 0.785 \cdot 2.1^2 \cdot 1.5 = 5.1928 \text{ л,} \quad (5.72)$$

де $l = 0.84 \cdot 1.8 \approx 1.5 \text{ дм}$

Об'єм тіла втулки

$$V_B = 0.785 \cdot d_B^2 l = 0.785 \cdot 1.02^2 \cdot 1.5 = 1.2251 \text{ л.} \quad (5.73)$$

Середній діаметр витка

$$D_{cp} = \frac{2,1 + 1,02}{2} = 1.56 \text{ дм.} \quad (5.74)$$

Середня довжина нитки

$$l_{cp} = 3.14 \cdot 1.56 = 4.8984 \text{ дм.} \quad (5.75)$$

Крок приймального витка експериментального преса

$$t = 0.84 \cdot 2.9 = 2.4360 \text{ дм.} \quad (5.76)$$

Загальна довжина нитки

$$l = \sqrt{t^2 + l_{cp}^2} = \sqrt{2.436^2 + 4.8984^2} = 5.4707 \text{ дм.} \quad (5.77)$$

Дійсна довжина нитки

$$L = \frac{5.4707 \cdot 300}{360} = 4.5589 \text{ дм.} \quad (5.78)$$

Площа перетину нитки, що розглядається приблизно як трапеція.

Розміри трапеції: $0.84 \cdot 15 = 13$ мм; $0.84 \cdot 25 = 21$ мм; $0.84 \cdot 61 = 51$ мм

Площа перетину нитки

$$F = \frac{(0.13 + 0.21)}{2} \cdot 0.51 = 0.0867 \text{ дм}^2. \quad (5.79)$$

Об'єм нитки

$$V_H = L \cdot F = 4.5589 \cdot 0.0867 = 0.3953 \text{ л.} \quad (5.80)$$

Об'єм, що займає виток

$$V' = V_H + V_B = 1.2251 + 0.3953 = 1.6204 \text{ л.} \quad (5.81)$$

Вільний об'єм

$$V_{c.o.} = V - V' = 5.1928 - 1.6204 = 3.5724 \text{ л.} \quad (5.82)$$

Коефіцієнт заповнення

$$\psi = \frac{1.6204}{5.1928} = 0.3120 \quad (5.83)$$

Визначаємо основні параметри інших семи витків експериментального преса продуктивністю 625 кг / год.

Вільний об'єм витка визначаємо за формулою [36]

$$V_{c.o.} = \frac{V_1}{n_o^{1,145}} = \frac{3.5724}{n_o^{1,145}}, \quad (5.84)$$

де: V_1 – початковий об'єм мезги;

$V_{c.o.}$ – вільний об'єм витка;

n_o – порядковий номер витка на гвинтовому валу.

Крок наступних семи витків визначаємо за встановленим коефіцієнтом $K1_{\text{под}} = 0.84$

Діаметр наступних семи витків визначаємо за встановленим коефіцієнтом $K2_{\text{под}} = 0.7056$

Таблиця 5.12

Основні параметри витків преса ФП і експериментального пресаЕП
продуктивністю 625 кг / год

№ витка	$V_{c.o.}$	Діаметр зеєра		Діаметр втулки мм		Крок витка, мм		Довжина витка, мм	
		ФП	ЭП	ФП	ЭП	ФП	ЭП	ФП	ЭП
n_o	ЭП	ФП	ЭП	ФП	ЭП	ФП	ЭП	ФП	ЭП
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3.5724	–	–	122	86	290	244	230	194

Продовження таблиці 5.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1.6154	250	175	122	86	235	198	180	150
3	1.0154	250	175	122	86	155	130	140	118
4	0.7305	200	140	122	86	130	110	115	96
5	0.5658	200	140	134	95	115	62	95	80
6	0.4592	220	155	176	125	110	92	100	84
7	0.3849	220	155	184	130	100	84	100	84
8	0.3303	240	170	204	144	84	70	70	58

Таким чином, внутрішній діаметр зерного циліндра експериментального преса сходами від входу мезги: I ступінь - 175 мм, II - 140, III - 155, IV - 170 мм.

5.3. Фінансово-економічний аналіз

Фінансово-економічний аналіз проекту вивчає його з погляду фінансової і комерційної привабливості. Тому всі витрати й доходи, одержані в результаті здійснення проекту, мають явний характер і фінансову відчутність. Критеріями аналізу є додаткові грошові потоки, що виникають при реалізації проекту, його рентабельність та окупність вкладеного капіталу.

Таблиця 5.13

Календарний план використання фінансових ресурсів

№ пп	Найменування робіт	Строки виконання	Вартість, тис.\$ США
1	2	3	4
1.	Вибір ділянки	01.01.20- 30.03.20	2
2.	Розробка конструкторської документації		116
2.1.	технологічного встаткування пресового відділення	01.01.20- 30.09.20	86

Продовження таблиці 5.13

1	2	3	4
2.2.	технологічного встаткування інактивації рицинової макухи	01.10.20- 30.12.20	30
3.	Розробка технологічної частини проекту основного цеху міні-заводу:		14
3.1.	пресового відділення	01.06.20- 30.08.20	8
3.2.	відділення інактивації рицинового жмиха	01.09.20- 30.12.20	6
4.	Виконання проекту міні-заводу		12
4.1.	прив'язка будинку основного цеху у вигляді будівельного модуля до місцевості;	01.04.20- 30.05.20	2
4.2.	пресового цеху й інженерного забезпечення, складських приміщень;	01.06.20- 30.12.20	6
4.3.	відділення інактивації рицинового жмиха.	01.01.21- 30.03.21	4
5.	Придбання оргтехніки й устаткування для загальногосподарських цілей	01.02.20- 30.12.22	170
6	Створення лабораторії технохімічного контролю виробництва рицинової олії й кормового жмиху	01.07.20- 30.12.20	30
7	Виготовлення й комплектація встаткування		770
7.1.	устаткування пресового відділення	01.07.20- 30.03.21	520
7.2.	устаткування відділення інактивації рицинового жмиха	01.01.21- 30.06.21	250
8	Поетапне будівництво міні-заводу		1076

Продовження таблиці 5.13

1	2	3	4
8.1.	будинок основного цеху	01.06.20.- 30.06.21	515
8.2.	інженерне забезпечення заводу	01.01.21- 30.04.21	80
8.3.	Монтаж устаткування й пусконаладжувальні роботи заводу:		231
8.3.1.	пресового відділення	01.03.21- 30.09.21	156
8.3.2	відділення інактивації рицинового жмиха	01.10.21- 30.12.21	75
8.4	Будівництво складських приміщень і відділення підготовчих процесів переробки насіння рицини	01.05.21- 30.07.21	250
9.	Поетапне освоєння виробництва рицинової олії й кормового рицинового жмиха й вихід на проектну потужність		100
9.1.	Навчання персоналу	01.10.21- 30.11.21	3
9.2.	Освоєння виробництва технічної рицинової олії	01.11.21- 30.06.22	64
9.3.	Навчання персоналу	01.06.22- 30.07.22	3
9.4.	Освоєння інактивації рицинового жмиха	01.08.22- 30.12.22	30
10.	Участь у виробництві насінного матеріалу й товарного насіння рицини		2190

Продовження таблиці 5.13

1	2	3	4
10.1.	Закупівля рицинових комбайнів	01.01.21- 01.05.21	1000
10.2.	Закупівля насінневого матеріалу	01.01.21- 30.03.21.	110
10.3.	Закупівля товарного насіння рицини	01.01.22- 30.12.22	1080
	Разом:		4480

Згідно календарного плану використання фінансових ресурсів для виконання запланованих проектних робіт протягом 3 років має бути вкладено 4,48 млн. дол. США (табл. 5.20). Поточні витрати проекту враховують витрати на випуск продукції, що містять витрати на придбання сировини, основних та допоміжних матеріалів, оплату праці, загальновиробничі та накладні витрати, які припадають на рік. Заплановані щорічні витрати на персонал, які включають фонд заробітної плати 40 працівників в розмірі 851,29 тис. грн. та 187,3 тис. грн. єдиного соціального внеску, складатимуть 1,04 млн. грн. (табл. 5.21).

Таблиця 5.14

Витрати на персонал, грн.

№ пп	Персонал	Кіл., ос.	Місячна заробітна плат	Річна заробітна плат	ЕСВ* за місяц, грн.	ЕСВ за рік, грн.	Річний фонд ЗП з ЕСВ, грн.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Директор	1	6955	83460	1530,1	18361,2	101821,2
2	Технолог	1	6259,5	75114	1377,1	16525,1	91639,1
3	Бухгалтер	1	5564	66768	1224,1	14689,0	81457,0

Продовження таблиці 5.14

1	2	3	4	5	6	7	8
4	Інженер по збуту	2	5216,25	62595	1147,6	13770,9	76365,9
5	Інженер по постачанню	1	5216,25	62595	1147,6	13770,9	76365,9
6	Оператор підготовчих процесів	4	5216,25	62595	1147,6	13770,9	76365,9
7	Оператор волого-теплової обробки й пресування	4	5216,25	62595	1147,6	13770,9	76365,9
8	Оператор інактивації макухи	4	5216,25	62595	1147,6	13770,9	76365,9
9	Оператор котла	4	4173	50076	918,1	11016,7	61092,7
10	Черговий електрик	4	5216,25	62595	1147,6	13770,9	76365,9
11	Лаборант	2	4173	50076	918,1	11016,7	61092,7
12	Комірник	1	4173	50076	918,1	11016,7	61092,7
13	Водій	3	4173	50076	918,1	11016,7	61092,7
14	Охоронець	8	4173	50076	918,1	11016,7	61092,7
	Разом:	40	70941	851292	15607,0	187284,2	1038576,2

*ЕСВ – єдиний соціальний внесок (22% на фонд ЗП)

Ескізні пророблення й розробка техніко-технологічного обґрунтування показали, що доцільно будувати міні-заводи продуктивністю 15 т/добу по вихідній сировині.

Залежно від якості сировини, розглядатимуться 4 варіанти результатів виробництва:

1 варіант - олійність насіння рицини – 54%, лузжистість насіння - 20%, олійність жмиха – 6%;

2 варіант - олійність насіння рицини – 54%, лузжистість насіння - 23%, олійність жмиха – 8%;

3 варіант - олійність насіння рицини – 57%, лузжистість насіння - 20%, олійність жмиха – 6%;

4 варіант - олійність насіння рицини – 57%, лузжистість насіння - 23%, олійність жмиха – 8%.

Таблиця 5.15

Розрахункові витрати в залежності від якості сировини, тис. грн.

№ пп	Показники	Варіанти			
		1	2	3	4
1	2	3	4	5	6
1.	Продуктивність по вихідній сировині, т/добу	15	15	15	15
2.	Робота заводу в добу, годин	24	24	24	24
3.	Робота заводу в рік, днів	300	300	300	300
4.	Олійність насіння, %	54	54	57	57
5.	Лузжистість насіння, %	23	23	20	20
6.	Вихід вільного лушпиння, %	16,49	16,49	13,26	13,26
7.	Олійність жмиха, %	6	8	6	8
8.	Вихід форпресованої олії, %	47,59	49,8	47,71	49,92
9.	Вихід експеллерної олії, %	4,58	1,83	7,54	4,79
10.	Вихід жмиха, %	24,95	25,52	24,76	25,32
11.	Втрати олії;	1,83	2,37	1,75	2,29
12.	у жмиху	1,5	2,04	1,48	2,02
13.	у лушпинні	0,33	0,33	0,27	0,27
14.	Сумарний вихід олії, %	52,17	51,63	55,25	54,71
15.	Знімання мінерального й органічного сміття й вологи, %	4,56	3,99	4,98	4,42
16.	Баланс сировини, %	100	100	100	100

Продовження таблиці 5.15

1	2	3	4	5	6
17	Річна продуктивність, тис.т/рік	4,5	4,5	4,5	4,5
18	По вихідній сировині (насінням)	4500	4500	4500	4500
19	Олія технічна рицинова	2347,65	2323,35	2486,25	2461,95
20	Олія форпресове	2141,55	2241	2146,95	2246,4
21	Олія експеллерна	206,1	82,35	339,3	215,55
22	Жмих кормовий	1122,75	1148,4	1114,2	1139,4
23	Лушпиння вільне	742,05	742,05	596,7	596,7
24	Втрати олії рицинової	82,35	106,65	78,75	103,05
26	Витрати технологічної пари, кг/год	356,25	356,25	356,25	356,25
28	Витрати технологічної води, м куб	1843,5	1843,5	1843,5	1843,5
29	Витрата технологічної пари, кг/год	484,6875	484,6875	484,6875	484,6875
30	Витрата дизпалива на виробництво пари, кг/рік	297360	297360	297360	297360
31	Зарплата	851,29	851,29	851,29	851,29
32	Єдиний соціальний внесок (22%)	187,28	187,28	187,28	187,28
33	Амортизаційні відрахування на технологічне встаткування	604,25	604,25	604,25	604,25
34	Амортизаційні відрахування на будинки й спорудження	226,12	226,12	226,12	226,12
35	Витрати на поточний ремонт і планове ТО технологічного встаткування	417,98	417,98	417,98	417,98
36	Витрати на поточний ремонт і планове ТО будинків і споруджень	226,12	226,12	226,12	226,12
37	Витрати на електроенергію	1780,70	1780,70	1780,70	1780,70
38	Витрати на технологічну воду	27,74	27,74	27,74	27,74
39	Витрати на ГСМ	6913,62	6913,62	6913,62	6913,62

Продовження таблиці 5.15

1	2	3	4	5	6
40	Витрати на доставку сировини й олії	2193,48	2181,89	2259,61	2248,01
41	Експлуатаційні витрати без витрат на сировину	13428,59	13417,00	13494,71	13483,12
42	Витрати на сировину	39136,08	39136,08	39136,08	39136,08
43	Експлуатаційні витрати з витратами на сировину	52564,67	52553,08	52630,80	52619,20

Залежно від якості сировини, яка передбачає різну олійність, лушпинність насіння та олійність жмиха, планове виробництво рицинової олій коливається від 2323 до 2486 т, вихід жмиху – від 1114 до 1148 т. Отже, запланований рівень експлуатаційних витрат буде не вищий за 52,63 млн. грн. (табл. 5.15). Ціна за 1 тону технічної рицинової олії коливається в межах 1200-1500USD, медичного 1500-2000 USD, тобто середня ціна знаходитиметься на рівні 42 тис. грн. за тону. Ціна на рициновий жмих буде не нижче рівня ціни шроту соняшника й складе 60-89 дол. США, тобто в середньому 2,44 тис. грн./т. отже виручка від реалізації планується в межах від 100,37 до 107,13 млн. грн., що забезпечить одержання прибутку не нижче 82,3 млн. грн. Таким чином, рентабельність виробництва при запланованому рівні витрат, в залежності від якості сировини, коливатиметься від 74,6 до 84,9%, тобто є достатньо високою. Найбільш ефективним є 3 варіант, при якому олійність та лузжистість насіння становить 57% та 20% відповідно, а олійність жмиха – 6% (табл. 5.15). Саме цей варіант оберемо для подальшого економічного обґрунтування. Згідно календарно-фінансового плану розмір інвестицій складає 136,764 млн. грн. (прогнозований курс долара у 2022 році, згідно бюджету країни складе 30,5 грн.). Інвестиції будуть вкладені протягом 3 років. В основі будь-яких фінансових операцій лежить принцип тимчасової вартості грошей, що будується на основі процесів, які з часом знецінюють вартість коштів, таких як інфляційні процеси, складні відсотки, ризики. Будь-яка компанія, що планує інвестиції у розвиток, повинна подавати не просто показники, які вона планує отримати, а розрахунок

даних показників із врахуванням факторів, що знецінюють вартість коштів або компенсують можливі втрати від неефективного використання капіталу.

Таблиця 5.16

Економічна ефективність в залежності від якості сировини, тис. грн.

№ пп	Показники	Варіанти			
		1	2	3	4
1.	Виробництво рицинової олії, т	2348	2323	2486	2462
2.	Вихід жмиху, т	1123	1148	1114	1139
3.	Ціна 1 т рицинової олії	42,0	42,0	42,0	42,0
4.	Ціна 1 т жмиху	2,44	2,44	2,44	2,44
5.	Виручка від продажу готової продукції	101356,1	100367,1	107130,2	106183,2
6.	в т ч олії рицинової	98616,0	97566,0	104412,0	103404,0
7.	жмиху кормового	2740,1	2801,1	2718,2	2779,2
8.	Неоподаткований прибуток	101356,1	100367,1	107130,2	106183,2
9.	Податок на прибуток (18%)	18244,1	18066,1	19283,4	19113,0
10.	Чистий прибуток	83112,0	82301,0	87846,7	87070,2
11.	Рентабельність, %	76,1	74,6	84,9	83,5

Необхідною передумовою і складовою використання сучасних методів оцінювання вартості проекту та окремих елементів його активів є розрахунок ставки дисконтування - коефіцієнта, що застосовується для визначення поточної вартості грошових потоків, які прогнозуються на майбутнє. Найчастіше українськими аналітиками, оцінювачами, експертами рекомендується розраховувати ставку дисконтування виходячи із середньої по ринку дохідності за депозитними вкладеннями, яку ми, відповідно, приймаємо на рівні 18 %. У світовій практиці розвинутих країн найбільш широке поширення отримала методика інвестиційного аналізу. на базі системи показників, наведених у табл. 5.17.

Таблиця 5.17

Інвестиційний аналіз проекту на 2020-2030 роки, тис. грн.

Показник	Роки										
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030-
Сума інвестицій	25620	75335	35685								
Виручка від реалізації				107130,2	107130,2	107130,2	107130,2	107130,2	107130,2	107130,2	107130,2
Експлуатаційні витрати				52630,8	52630,8	52630,8	52630,8	52630,8	52630,8	52630,8	52630,8
Амортизаційні відрахування				830	830	830	830	830	830	830	830
Ставка дисконту, %	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Грошові потоки	-25620	-75335	-35685	55329,4	55329,4	55329,4	55329,4	55329,4	55329,4	55329,4	55329,4
Дисконтовані грошові потоки	-25620	-63843,2	-25628,4	33675,2	28538,3	24185,0	20495,7	17369,3	14719,7	12474,3	10571,5
Кумулятивний дисконтований грошовий потік	-25620	-89463,2	-115091,6	-81416,5	-52878,2	-28693,2	-8197,5	9171,8	23891,5	36365,8	46937,3
Чиста приведена вартість	46937,3										
Термін окупності інвестицій, років	6,5										
Внутрішня норма рентабельності, %	27,33										
Індекс прибутковості	1,41										

Чиста приведена вартість показує справжню вартість різночасних результатів від реалізації проекту, отже додаткова або знов створена вартість, яку отримаємо, фінансуючи сьогодні початкові витрати, становитиме 46,9 млн. грн. Позитивна величина чистої приведеної вартості свідчить не тільки про повне відшкодування витрат, але і про отримання додаткового доходу, тобто про збільшення активів внаслідок прийняття проекту. В умовах високої інфляції, нестабільності в державі, істотно зростає роль і значення терміну окупності як критерію економічного обґрунтування інвестицій. Дисконтований термін окупності, за який надходження від виробничої діяльності покривають витрати на інвестиції, складе 6,5 років. Під внутрішньою нормою прибутковості розуміють таке значення ставки дисконтування, при якій чиста теперішня вартість проекту дорівнює нулю, тобто даний критерій показує максимально допустимий відносний рівень витрат, які можуть бути асоційовані з інвестиційним проектом. Якщо проект повністю фінансується за рахунок позички комерційного банку, то значення рівня банківської процентної ставки вище 27,33% зробить проект збитковим. Індекс прибутковості характеризує ефективність вкладень, які є доцільними, за умови, що даний показник є більшим за 1. Чим більшим є значення цього показника, тим вище віддача на кожну інвестовану гривню. Таким чином, проект є ефективним, на 1 грн., вкладену в проект, одержуємо 1,41 грн. доходу.

Висновки до розділу 5

1. Розроблено технологію глибокої безекстракційної переробки насіння рицини адаптовану до малотоннажного виробництва (Патент України №115325), яка відрізняється від відомих тим, що у технологічній схемі використовується обладнання із оптимізованими конструкційними параметрами, який полягає в сепарації і кондиціюванні насіння, його обрушенні і інактивації в шнеку-інактиваторі, волого-тепловій обробці перед форпресуванням і експелерним пресуванням, згідно схеми додатково очищають від механічних домішок і колібрують насіння за розмірами перед обрушенням у триситовому сепараторі, потім аеросепарують рушанку, освітлюють і фільтрують

олію у електрофлотаторі.

2. Використовуючи результати розрахунку динаміки і кінетики жаріння зволоженої м'ятки рицини отримано оптимальні значення технологічних режимів і конструкційних параметрів семічанної жаровні прив'язаної до малотоннажного виробництва потужністю 625 кг/год (15 т./добу). Так значення основних технологічних режимів повинні складати: тиск зарубашечної пари - 0,4 МПа; початкова вологість м'ятки - 13,5%, кінцева вологість - 6%; витрати зарубашечної пари 23,67 кг/год. В інших шести чанах технологічні режими складають наступні значення:

- вологість м'ятки, % - (11,76; 9,6; 8,1; 7,1; 6,5; 6,0);
- питомий вологовміст, кг/кг (0,1176; 0,0908; 0,0731; 0,0615; 0,0547; 0,0491);
- кількість випаруємої вологи, кг (2,749; 2,235; 1,490; 0,960; 0,570; 0,4696);
- тепло, що забирає випарувана волога, кДж (7287,1; 5936,4; 3933,6; 2548,5; 1500,7; 1247,3);
- температура, м'ятки на виході із чана (84,6; 72,2; 75; 73,8; 86,7; 92,77)
- кількість тепла, що проходить через поверхню днища чану, кДж (6312,7; 6606,1; 6986,8; 7121,6; 6658,1; 5905,4);
- витрата зарубашечної пари, кг/год (3,17; 3,35; 3,5; 3,57; 3,34; 2,96);
- енергія на розрив зв'язку вологи, кДж (0,2968; 0,3934; 0,5097; 0,3002; 0,3742).

Кожен чан жаровні обладнаний мішалкою з двох прямих лопаток розташованих радіально, кутом нахилу до горизонту днища 32°, шириною лопатки 40 мм, частотою обертання мішалки 40 об/хв.

3. Техніко-економічна оцінка ефективності будівництва малотоннажного підприємства по глибокій переробці рицини дозволяє установити найкращий із чотирьох варіантів якісних показників олійної сировини. Основні техніко-економічні показники ефективності використання інвестицій для цього варіанту складають: чистий річний прибуток 87 846,7 тис. грн., рівень рентабельності 84,9%, строк окупності 6,5 років.

Таким чином даний проект є ефективним на 1 грн вкладену в проект одержуємо 1,41 грн доходу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота спрямована на розв'язання науково-технічної проблеми, яка полягає у розробці моделей і методів наукового обґрунтування технологічних режимів і конструктивних параметрів технологічного обладнання переробки рицини в умовах малотоннажного підприємства. Основні наукові та прикладні результати полягають у наступному.

1. Проведений аналіз сучасного стану світового виробництва продуктів переробки рицини показує значне зростання попиту на ці продукти. Тому створення ресурсної бази та організація переробних потужностей в Україні спрямовані на вирішення народногосподарської проблеми забезпечення вітчизняної промисловості продуктами переробки рицини. Встановлено, що найбільш доцільними є виробництва малотоннажного типу з добовою потужністю від 15 до 45 т. Доведено, що технічні можливості існуючих технологій безекстракційної переробки насіння рицини не повністю забезпечують вихід олії на рівні 90-95% від її вмісту у сировині. Для вирішення поставленої проблеми потрібно розробити технологію та обґрунтувати конструкційно-технологічні параметри засобів технічного забезпечення отримання рицинової олії.

2. Проведений аналіз теоретичних досліджень процесів переробки олійних культур показав, що розроблення безекстракційної технології переробки рицини із заданими показниками якості вимагає створення наукових основ глибокої переробки насіння цієї культури із урахуванням її реологічних та теплофізичних властивостей.

3. Математичне моделювання тепломасопереносу при підготовці м'ятки рицини до віджиму олії у багаточанній жаровні дозволило отримати оптимальні значення технологічних режимів і конструкційних параметрів семичанної жаровні, прив'язаної до малотоннажного виробництва потужністю 625 кг/год.: тиск зарубашечної пари – 0,4 МПа; початкова вологість м'ятки – 13,5%, кінцева вологість – 6%; витрати зарубашечної пари – 23,67 кг/год. Кожен чан жаровні

обладнаний мішалкою з двох прямих лопаток, розташованих радіально, з кутом нахилу до горизонту 32° , шириною лопатки 40 мм, частотою обертання мішалки 40 об/хв.

4. Отримані математичні моделі очищення пресової рицинової олії від гідратованих фосфатидів та механічних домішок з метою обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів електрофлотаційної установки за заданою продуктивністю для очищення форпресової олії 300кг/год, експелерної-50кг/год.

5. На підставі експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей насіння рицини встановлено, що середнє значення зусилля по руйнуванню оболонки ядра становить 419 Н. Це дало можливість визначити оптимальні значення зазорів між парними валками шельмашини залежно від розмірних груп насіння, які повинні бути на 1,2 мм меншими за товщину середньої за розміром фракції партії перероблюваного насіння.

6. В результаті експериментальних досліджень теплофізичних властивостей елементів насіння рицини встановлено, що для забезпечення оптимального режиму процесу волого-теплової обробки рицинової мезги значення її показників мають бути наступними: початкова вологість мезги для періоду зволоження $W_{кз} = 9,144-10,662\%$; кінцева вологість мезги для періоду сушіння $W_{кк} = 5,72-6,68\%$; тиск пари в парогенераторі 0,371-0,442 МПа.

7. У результаті експериментальних досліджень впливу конструкційно-технологічних параметрів віджиму мезги у гвинтовому пресі на ступінь отримання олії за заданої продуктивності отримані коефіцієнти повернення в межах 0,506-0,725 при зміні ширини вихідної щілини від 6 мм до 12 мм. Це дозволило розробити методику проектування пристосованого до малотоннажного виробництва гвинтового преса з наступними параметрами: продуктивність – 625 кг/год; діаметр приймального витка – 230 мм, крок – 244 мм, довжина – 194 мм, вільний об'єм – 3,57 л, коефіцієнт заповнення – 0,31. В інших семи витках вільний об'єм змінюється від 0,77 л до 0,16 л в залежності від прийнятого закону стиснення, а отже від внутрішнього діаметра зеєра,

кроку витків та їх довжини. Величина внутрішнього діаметру зеєра по ступеням від входу мезги складає: I ступінь – 175 мм; II ступінь - 140 мм; III ступінь – 155 мм; IV ступінь – 170 мм. Кутова швидкість обертання гвинтового вала складає від $0,357 \text{ c}^{-1}$ до $0,75 \text{ c}^{-1}$.

8. . В результаті експериментальних досліджень впливу конструкційно-технологічних параметрів електрофлотаційної установки на ступінь очищення олії розроблено спосіб та виготовлено лабораторне обладнання, яке забезпечує ступінь очищення рицинової олії від гідратованих фосфатидів та механічних домішок на рівні 97% за напруги 5 кВ.

9. Запропоновано удосконалену безекстракційну технологію переробки рицини методом двократного пресування для умов малотоннажного виробництва, яка відрізняється від відомих технологій тим, що вона містить такі додаткові технологічні операції: калібровка насіння, пневмосепарація лушпиння та очищення віджатої олії шляхом електрофлотації.

10. Обґрунтовано показники щодо створення вихідних вимог до технічного обладнання технологічного процесу виробництва рицинової олії і кормової макухи. Доведено, що при добовій потужності малотоннажного підприємства на рівні 15 т річний дохід від реалізації готової продукції складає 14175 тис. грн., а експлуатаційні витрати дорівнюють 900 тис. грн. При цьому строк окупності капітальних вкладень становить 6,5 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 6757-96 Масло касторовое техническое. Технические условия. [чинний 1997-01-01] Вид. офіц. Київ, 1997. 8 с. (Інформація та документація).
2. Створити наукові основи глибокої перегобки та використання біосировини для енергетичного і кормового забезпечення виробництва тваринницької продукції, Розробити математичну модель фільтрації рицинової олії крізь шар мезги у шнековому пресі : звіт про НДР / Запоріжжя. Національна академія аграрних наук. Інститут механізації тваринництва; наук. керівник В.А. Дідур. ІМТ НААН. – Запоріжжя, 2010. – 11 с.
3. Створити наукові основи глибокої переробки та використання біосировини для енергетичного і кормового забезпечення виробництва тваринницької продукції. Розробити технологічний регламент та вихідні вимоги на комплект обладнання для малотонажного підприємства з перероблення рицини. Розробити тимчасовий технологічний регламент переробки рицини на малотонажному підприємстві : звіт про НДР / Запоріжжя. Національна академія аграрних наук. Інститут механізації тваринництва; наук. керівник В.А. Дідур. ІМТ НААН. – Запоріжжя, 2010.– 52 с.
4. Створити наукові основи глибокої переробки та використання біосировини для енергетичного і кормового забезпечення виробництва тваринницької продукції. Розробити програму і методики експериментальної перевірки адекватності математичних моделей процесів волого-теплової обробки, віджимання мезги та фільтрації касторової олії крізь шар мезги у пресі: звіт про НДР / Запоріжжя. Національна академія аграрних наук. Інститут механізації тваринництва; наук. керівник В.А. Дідур. ІМТ НААН. – Запоріжжя, 2010. – 28 с.
5. Створити наукові основи глибокої переробки та використання біосировини для енергетичного і кормового забезпечення виробництва тваринницької продукції. Провести уточнення математичних моделей процесів волого-теплової обробки й віджимання насіння рицини та виконати перевірку

їх адекватності за результатами експериментальних досліджень Розробити математичну модель віджимання мезги насіння рицини у шнековому пресі : звіт про НДР / Запоріжжя. Національна академія аграрних наук. Інститут механізації тваринництва; наук. керівник В.А. Дідур. ІМТ НААН. – Запоріжжя, 2009. – 20 с.

6. Звіт про науково-дослідну роботу НДЛІ Виробництво біосировини та раціональне використання ПММ.ТДАТУ, 2010. 66 с.

7. Кошкарова В.А. Переработка семян экстракционным способом без отделения лузги. Масло-жировая промышленность. 1974. № 6. С.8-12.

8. Копейковский В.М., Данильчук С.И., Гарбузова Г.И. Технология производства растительных масел. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982 416с.

9. Кичигин В.П. Технология и технохимический контроль производства растительных масел. М. Пищевая промышленность, 1976. 359 с.

10. Стам Г.Я., Гурьев П.А. Переработка семян клещевины на предприятиях Молдавии. Масло-жировая промышленность. 1975. № 11. С.10-12.

11. Голдовский А. М. Теоретические основы производства растительных масел. М.: Пищепромиздат, 1958. 446 с.

12. Масликов В. А. Технологическое оборудование производства растительных масел. М.: Пищепромиздат, 1962. 424 с.

13. Щербаков, В. Г. Химия и биохимия переработки масличных семян. М.: Пищевая промышленность, 1977. 168 с.

14. Дидур В. А., Ткаченко В. А. Технология переработки семян клещевины на малотоннажных предприятиях. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Мелітополь: Копіцент «Документ-сервіс», 2014. Вип. 4. С. 21 – 35.

15. 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: Копіцент «Документ-сервіс», 2016. Вип. 4. С.14-31.

16. Дидур В., Ткаченко В., Ткаченко А., Дидур В. Математическая модель процесса подготовки масличного сырья в многочанной жаровне. MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture an international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. LUBLIN – RZESZÓW, 2016. Vol. 18, No 1. С.29-36.

17. Дидур В. А., Ткаченко А. В. Термодинамические характеристики элементов семян подсолнечника. Науковій вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2016. Вип. 251. С.19 – 30.

18. Алексанян И. Ю., Титова Л. М., Нугманов А. Х. Моделирование процесса сушки дискретного материала в кипящем слое. Техника и технология пищевых производств. 2014. №3. С. 96 – 102.

19. Шевцов А. А., Остриков А. Н. Техника и технология сушки пищевого растительного сырья. Воронеж: Воронежский государственный агротехнологический университет, 2014. 289 с.

20. Рудобашта С. П. Сушка дисперсных. Пленарные доклады. 2002. Т.1. С. 26 – 35.

21. Шевцов А. А., Павлов И. О., Воронова Е. В., Бритиков Д. А. Аналитическое решение математической модели связанного тепломассопереноса при конвективной сушке зерна. Известия вузов. Пищевая технология. 2010. №4. С. 99 – 104.

22. Liua J., Abdalbasit M., Gasmallaa A., Lia P., Yang R. Enzyme-assisted extraction processing from oilseeds: Principle, processing and application. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2016. Vol. 35. P. 184–193.

23. McKeon Th. A., Brandon D. L., He X. Improved method for extraction of castor seed for toxin determination. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2016. Vol. 5. P. 56–57.

24. McKeon Th. Fractionation of insect oils: the case of yellow mealworm oil. *International News on Fats, Oils*, 2016. Vol. 27. P. 20 – 24.
25. Mckeon T. A., Brandon D. L., He X. Improved method for extraction of castor seed for toxin determination *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2016. Vol. 5. P. 6–57.
26. Awab W., Harbawy A.L., Mozahim K. Production and Characterization of Biodiesel from seed oil of Castor (*Ricinus communis* L.) plants. *International Journal of Science and Technology*. 2014. Vol. 3. No. 9. P. 78–85.
27. Mckeon T.A., Hayes D. G., Hildebrand D. F., Weselake R. J. Castor (*Ricinus communis* L.). *Industrial Oil Crops*. Amsterdam, Netherlands, Academic press and Champaign-Urbana, IL, USA, AOCS, 2016. P. 75 – 112.
28. Mckeon T.A., Hayes D. G., Hildebrand D. F., Weselake R. J. Introduction to industrial crops. *Industrial Oil Crops*. Amsterdam, Netherlands, Academic press and Champaign-Urbana, IL, USA, AOCS, 2016. P. 1– 13
29. Зарецкий Ю.К. Теория консолидации грунтов. М.: Наука, 1967. 268 с.
30. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов: учеб. пособие для строительных вузов. М.: Высш. школа, 1978. 447 с.
31. Голдовский А.М. Теоретические основы производства растительных масел. М.: Пищепромиздат, 1958. 446 с.
32. Цытович Н.А., Зарецкий Ю.К., Малышев М.В. Прогноз скорости осадок оснований сооружений (консолидация и ползучесть многофазных грунтов). М.: Стройиздат, 1967. 236 с.
33. Зарецкий Ю.К. Вязкопластичность грунтов и расчёты сооружений. М.: Стройиздат, 1988. 352 с.
34. Копейковский В.М., Данильчук С.И., Гарбузов Г.И. Технология производства растительных масел. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 416 с.
35. Урьев Н.Б., Талейсник М.А. Физико-химическая механика и интенсификация образования пищевых масс. М.: Пищевая промышленность, 1976. 239 с.

36. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 216 с.
37. Гуськов К.П., Мачихин Ю.А, Мачихин С.А. Реология пищевых масс. М.: Пищевая промышленность, 1970. 208 с
38. Круглицкий Н.Н. Основы физико-химической механики. часть 1 К.: Вища школа, 1975. 268 с.
39. Круглицкий Н.Н. Основы физико-химической механики. часть 3. К.: Вища школа, 1977. 136 с.
40. Николаев Б.А. Структурно-механические свойства мучного теста. М.: Пищевая промышленность, 1976. 247 с
41. Григорьев М.А. Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях. М.: Машиностроение, 1970. 270 с.
42. Жужинков В. А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. М.: Химия, 1971. 440 с.
43. Кавецкий Г.Д., Васильев Б. В. Процессы и аппараты пищевой технологии. М.: Колос, 2000. 551 с.
44. Проскуряков В. А., Шмидт Л. И. Очистка сточных вод в химической промышленности. М.: Химия, 1977. 464 с.
45. Дытперский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов. 2-е изд. - М.: Химия, 1995. 400 с.
46. Заяц Ю.А., Прохоров А. Н., Яровой В. Л. Совершенствование технологических процессов в перерабатывающей промышленности. К.: Урожай, 1991. 192 с.
47. Малиновская Т. А., Кобринский И. А., Кирсанов О. С., Райнфарт В. В. Разделение суспензий в химической промышленности. М.: Химия, 1983. 264 с.
48. Назаренко І. П. Дослідження процесу зарядки дисперсної фази в діелектричних рідинах. Праці Таврійської державної агротехнічної академії: наук. фах. видання. ТДАТА. Мелітополь, 2002. Вип. 9. С. 33-37.
49. Назаренко І. П., Яковлев В. Ф., Кондратенко О. Г. Інтенсифікація флотаційної очистки соняшникової олії електростатичним полем. Праці

Таврійської державної агротехнічної академії: наук. фах. Видання. ТДАТА. Мелітополь, 2001. Вип. 1, Т. 21. С. 49-53.

50. Назаренко І. П. Моделювання біжучого електричного поля в електросепараторах діелектричних суспензій. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Харків, 2010. - Вип. 101. С. 137-139.

51. Назаренко І. П., Орел О. М., Стюпін Ю. М. Очистка мінеральних олій напірною флотацією з накладеним електростатичним полем. Труды Таврической государственной агротехнической академии: темат. науч.-техн. сборник. ТДАТА. Мелітополь, 1998. Вип. 1, т. 8. С. 55-58.

52. Шилов В. Н. Диэлектрофорез наноразмерной частицы. Коллоидный журнал. 2008. Т.70, № 4. С. 558-571.

53. Грановский М. Г. Электрообработка жидкостей (очистка топлив, масел, вод). Л.: Химия, 1976. 216 с.

54. Дейнега Ю.Ф. Некоторые вопросы электрореологии дисперсных систем. Инженерно-физический журнал. 1970. Т. 18, № 6. С. 994-999.

55. Задорожный В. Н., Копнин Ю. Н., Лосев Е. Г. Установка для тонкой электроочистки жидкостей. НИТИ. 1970. Вип. 2(9). С. 85.

56. Качанов Э. С. Электрические методы очистки и контроля качества топлив. Л.: Судостроение, 1990. 310 с.

57. Коваленко В. П. Загрязнённость нефтяных масел при транспортировании и хранении и их очистка. М.: ЦНИИТЭ Нефтехим., 1974. 60 с.

58. Electrofilter system: пат. 3799857 США, МКИ В03 С5/00. № 263044; заявл. 15.06.72; опубл. 26.03.74, United States Patent Office. 8 с.

59. System for the dielectrophoretic separation of particulate and granular material: пат. 4100068 США, МКИ В03 С5/00. № 759202; заявл. 13.01.77; опубл. 11.07.78, United States Patent Office. 5 с.

60. Назаренко І. П., Чугреева М. В. Эффективность использования электростатического поля в процессе дезодорации растительных масел. Праці

Таврійської державної агротехнічної академії: наук. фах. видання. ТДАТА. Мелітополь, 2005. Вип. 33. С. 49-54.

61. Назаренко І. П., Ковальчук М. В. Вплив електростатичного поля на процес випаровування летючих речовин. Праці Таврійської державної агротехнічної академії: наук. фах. видання. ТДАТА. Мелітополь, 2006. Вип. 38. С. 65-71.

62. Назаренко І. П., Лобода О. І., М Груба. О., Ларіков К. М. До питання випаровування рідин в коронному розряді. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання. ТДАТУ. Мелітополь, 2008. Вип. 8, Т.5. С. 44-48.

63. Попков В. И. Сильные электрические поля в технологических процессах. М.: Энергия, 1979. 434 с.

64. Смирнов О.В., Воробьева С. В., Смирнова В. О. Электроочистка газов и жидкостей. Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. 241 с.

65. Эфендиев О. Ф. Электроочистка жидкости в пищевой промышленности / О. Ф. Эфендиев. - М.: Пищевая промышленность, 1977. 149 с.

66. Воробьева С. В., Смирнов О. В. Извлечение метилтрибутилового эфира и метанола из растворов с использованием электрообработки в технологии производства высокооктановых топлив. *Журнал прикладной химии: науч. журнал.* РАН. - СПб., 2003. Т. 76, № 1. С. 164-165.

67. Мартынов А. Г. Очистка нефтепродуктов в электрическом поле постоянного тока. М.: Химия, 1974. 89 с.

68. Никитин Г. А., Никитин А. Г., Данилов В. М. Экономика нефтепродуктов, используемых в технологических целях. К.: Техника, 1984. 128 с.

69. Проскуряков В. А. Смирнов О. В. Очистка нефтепродуктов и нефтесодержащих вод электрообработкой. СПб.: Химия, 1992. 112 с.

70. Рыбаков И. Р., Коваленко В. П., Тугранинов В. Е. Очистка нефтепродуктов от механических примесей и воды. М.: ЦНИИТЭ Нефтехим, 1974. 80 с.

71. Сафин А. М. Кинетика процесса электрической очистки диэлектрических сред и разработка электроочистителя с оптимальными параметрами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14. Ставрополь, 1997. 20 с.

72. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: в 10-ти т.: учеб. пособие для физ. спец. ун-тов. М.: Наука, 1988. 512 с.

73. Тамм И. Е. Основы теории электричества: учебное пособие для вузов. М.: Физматлит, 2003. 616 с.

74. Духин С. С., Шилов В. Н. Диэлектрические явления и двойной слой в дисперсных системах и полиэлектrolитах. К.: Наук.думка, 1975. 246 с.

75. Живописцев Е. Н., Косицын О. А. Электротехнология и электрическое освещение. М.: Агропромиздат, 1990. 303 с.

76. System for the dielectrophoretic separation of particulate and granular material: пат. 4100068 США, МКИ В03 С5/00. № 759202; заявл. 13.01.77; опубл. 11.07.78, United States Patent Office. 5 с.

77. Тарушкин В. И. Диэлектрическая сепарация семян: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.02. Москва, 1991. 32 с.

78. Евтюков И. П. Электротехнологические промышленные установки: учеб. пособие для вузов. М.: Энергоиздат. 1982. 192 с.

79. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов. М.: ВШ. 1973. 752 с.

80. Кошкарова В.А. Переработка семян клещевины экстракционным способом без отделения лузги. *Масло-жировая промышленность*, 1974. № 6. С.8

81. Гинзбург А.С., Савина И.М. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 280 с.

82. Копейковский В.М., Данильчук С.И., Гарбузова Г.И. Технология производства растительных масел. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 416 с.

83. Маркелова С. Н. , Ткаченко В.А. Исследование влияния технологических воздействий при переработке семян подсолнечник на течение окислительных и гидролитических процессов липидной фракции процессов. *ІОК УААН, Науково-технічний бюлетень*. Запоріжжя, 1997. Вип. 2. С. 27 – 33.

84. Маркелова С. Н., Ткаченко В.А., Демидов И.Н. Исследование антиокислительных свойств этанольных и водноэтанольных экстрактов подсолнечного жмыха. *ІОК УААН, Науково-технічний бюлетень*. Запоріжжя, 1997. Вип. 2. С.19-26.

85.Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Л.: Химия, 1975. 384 с

86. 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: Копіцент «Документ-сервіс», 2016. Вип. 4. С.14-31.

87. Ольшанский А.И. Исследование теплообмена в процессе сушки влажных материалов по экспериментальным данным влагообмена. *Инженерно-физический журнал*. 2014. Т. 87. №4. С.887 – 898.

88. Подгорный С.А., Кошевой Е.П., Косачев В.С., Схалыхов А.А. Постановка задачи описания переноса тепла, массы и давления при сушке. *Новые технологии*. 2014. №3. С. 20-27.

89. Дидур В., Ткаченко В., Ткаченко А., Дидур В. Математическая модель процесса подготовки масличного сырья в многочанной жаровне. *MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture an international journal on operation of farm and agri-food industry machinery*. RZESZÓW, 2016. Vol. 18. № 1. С.29-36.

90. Мазяк З. Ю. Тепло- и массоперенос в пористых телах при переменных потенциалах в среде. Львов: Вища школа, 1979. 120 с.

91. Голдовский А.В. К вопросу об улучшении конструкции аппаратов для приготовления мезги в производстве растительных масел. *Масложировая промышленность*, 1960. №8. С.3 –11.

92. Ребиндер П.А. О формах связи влаги с материалами в процессе сушки, Сб. «Всесоюзное научно-техническое совещание по интенсификации процессов и улучшению качества материалов при сушке в основных отраслях промышленности и сельском хозяйстве», Профиздат, 1958. 152 с.

93. McKelvey J.M., Wheeler N. C., SPE Nrans. 1963. V. 3, № 2. P. 138-147.

94. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. К.: Украинская Академия сельскохозяйственных наук, 1960. 280 с.

95. Nagata S., Yamamoto K., Hashimoto, Naruse Y. Mem. Fac. Eng. Kyoto Univ., 1960. 68 с.

96. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво: підручник. К.: Аграрна освіта, 2001. 591 с.

97. Насонов Д. Н., Александров В. Я. Реакция живого вещества на внешние воздействия. М.- Л., Изд-во АН СССР, 1940. 252 с.

98. Повний державний реєстр сортів на сайті міністерства аграрної політики та продовольства України. URL: <https://agrarii-razom.com.ua/culture-variety> (дата звернення 25.02.2019).

99. Василенко Н.Є. Фотосинтетичний потенціал сортів рицини. *Таврійський науковий вісник*. 2005. № 84. С.80-89.

100. Василенко Н.Є. Урожай і якість насіння різних сортів рицини за різних строків сівби та густоти стояння рослини. *Наукові доповіді НУБіП*. 2011. № 3(25). С. 11-25.

101. Наукові основи глибокої переробки насіння рицини на олію та високобілкові корми: звіт про НДР (заключний)/ ТДАТУ; кер. В. А. Дідур. - Мелітополь, 2018. - 300 с.

102. Ткаченко А.В., Дідур В.В., Ткаченко В.А., Дідур В.А. 2012. Математическая модель влаготепловой обработки мятки масличных культур в многочанной жаровне. Работы Таврического государственного агротехнологического университета: научное издание. Вып. 12, Т1 – Мелітополь, с.23 – 35.

103. Ткаченко А.В. , Дидур В.А. 2014. Оборудование и технология сушки семян подсолнечника высших репродукций / Lambert Academie Publishing, 165 (Германия).

104. Дидур В.А, Ткаченко В.А. 2014. Технология переработки семян клещевины на малотоннажных предприятиях. Вестник Украинского отделения меж-дународной академии аграрного просвещения. – Мелитополь: Копицентр «Документ сервис», с.21 – 36. (Украина).

105. Фролова Л.Н. 2016. Развитие научно-практических основ ресурсосберегающих процессов комплексной переработки семян масличных культур (теория, техника и технология). Дис. канд. техн. наук: 05.18.12. – Воронеж, 370. (Россия).

106. Алексанян И.Ю., Титова Л.М., Нугманов А.Х. 2014. Моделирование процесса сушки дисперсного материала в кипящем слое. Техника и техно-логия пищевых производств, №3, с.96 – 102. (Россия)

107. Бырдин А.П., Сидоренко А.А., Сточней В.Г. 2011. Кинетика теплообмена в кипящем слое на стадии прогрева материала. Вестник Воронежского государственного технического университета. Т7, №11, с. 122 – 125.

108. Бырдин А.П., Надеев А.А., Сидоренко А.А. 2013. Анализ одной модели процессов обмена в движущихся фазах дисперсной системы. Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, учёных. Т1, №1, с. 68 – 71.

109. Рудобашта С.П., Зуев Г.А., Дмитриев В.М., Зуев Н.А. 2014. Массопроводность при сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов. Известия высших учебных заведений. Серия химия и химическая технология. Т. 57, №1, с. 103 – 107.

110. Станкевич Г.Н., Овсянников Л.К. 2014. Технология комбинированной сушки мелкосемянных культур. V Международный научно-технический симпозиум «Современные энергосберегающие тепловые

технологии (сушка и термовлажная обработка материалов (СЭТТ – 2014). Иван. гос. хим. технол. ун-т – Иваново, с. 344 – 348.

111. Шевцов А.А., Остриков А.Н. 2014. Техника и технология сушки пищевого растительного сырья. Воронеж: Воронежский государственный агротехнологический университет – 289с. .

112. Братиков Д.А. 2013. Разработка ресурсосберегающих процессов сушки зерна злаковых и масличных культур с использованием теплонасосных технологий. Дис. докт. тех. наук: 05.18.12. – Воронеж – 332.

113. Подгорный С.А., Косачев В.С., Кошевой Е.П., Схалыков А.А., 2014. Влажно-температурные кинетические зависимости при сушке. Новые технологии №1, с.43-47.

114. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сороковая Н.Н. 2011. Математическая модель и метод расчета динамики непрерывной сушки. Материалы четвертой международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажная обработка материалов) (СЭТТ). – Москва, МГАУ, с.89 – 100.

115. Ольшанский А.И. 2014. Исследование теплообмена в процессе сушки влажных материалов по экспериментальным данным влагообмена. Инженерно-физический журнал. Т. 87, №4, с.887 – 898.

116. Подгорный С.А., Кошевой Е.П., Косачев В.С., Схалыков А.А. 2014. Постановка задачи описания переноса тепла, массы и давления при сушке. Новые технологии. №3. с. 20 – 27.

117. Голдовский А.М. Теоретические основы производства растительных масел /А.М. Голдовский – М.: Пищепромиздат, 1958 – 446 с.

118. Щербаков В.Г. Химия и биохимия переработки масличных семян /В.Г. Щербаков. – М.: Пищевая промышленность, 1977 – 168 с.

119. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Польша, 1971. Пер. с польск. под ред. Щупляка И.А – Л.: Химия, 1975. – 384 с.

120. Ткаченко А.В. Математическая модель влаготепловой обработки мятки семян масличных культур в многочанной паровой жаровне. / А.В.

Ткаченко, В.В. Дидур, Ткаченко В.А., В.А. Дидур / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 12, Т.1. – С. 23-35.

121. Дидур В.В., Дидур В.А., Ткаченко В.А., Ткаченко А.В. Моделирование процессов, протекающих в шнековом прессе при консолидации мезги масличных культур. Известия МААО. 2013 (1). № 16. С.150-155.

122. Didur V., Tkachenko V., Tkachenko A., Didur V., Vereshchaga A. Vereshchaga Rheology of the pulp of castor-oil seeds and its effect on the process of pressing. ADVANCES OF SCIENCE: Proceedings of articles the international scientific conference. Karlovy Vary, Kyiv: MCNIP, 2018. P.609-618.

123. Мазяк З. Ю. Тепло- и массоперенос в пористых телах при переменных потенциалах в среде /Мазяк З.Ю. – Львов: Вища школа, Изд во при Львовском ун-те, 1979, 120 с.

124. Голдовский А.В. К вопросу об улучшении конструкции аппаратов для приготовления мезги в производстве растительных масел. /А.В. Голдовский. Масло-жировая промышленность, 1960, №8, с.3 – 11

125. Дидур В.В., Дидур В.А., Ткаченко В.А., Ткаченко А.В., Верещага А.Л. Проектирование гвинтового пресса для отжима растительных масел методом подобия. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. Вип. 6. С. 7-21.

126. Дидур В.А., Ткаченко В.А., Ткаченко А.В., Дидур В.В., Верещага А.Л. Структурно-механические свойства мезги семян масличных культур. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Вип. 5. С.7-24.

127. Дидур В.А., Ткаченко В.А. Технология переработки семян клещевины на малотоннажных предприятиях. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Вип. 2. Мелітополь: Копіцентр «Документ-сервіс», 2014. С. 21–36.

128. 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.

129. Заявка на патент Електрофлотаційна установка для очищення рослинної олії

130. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сороковая Н.Н., Кольчик Ю.Н. Молекулярно-радиационная теория и методы расчета тепло- и массообмена. К.: Наукова думка, 2014. 743 с.

131. Абаржи И.И., Долинский А. А. Теория тепломассопереноса в бипористых средах. К.: Наукова думка, 2014. 191 с.

132. Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. М.: Химия, 1980. 248 с.

133. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. 2-е издание. М.: Химия, 1984. 590 с.

134. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 472 с.

135. Лыков А.В. Применение методов термодинамики необратимых процессов к исследованию процессов тепло- и массообмена. *Инж.-физ. журн*, 1965.Т.9. №3. С.287–304.

136. Whitaker S. Simultaneous heat and momentum transfer in porous media: a theory of drying. *Advavce in Heat Transfer*. Academic Press, New York. 1977, P. 119–203.

137. Гринчик Н.Н., Куц П.С., Акулич П.В. Моделирование теп-ловлаго-переноса и поверхностных явлений в биологических коллоидных пористых материалах. *Тепломассообмен ММФ-96*. Минск: ИТМО им. А.В. Лыкова НАНБ, 1996. Т.VII. С. 21–28.

138. Никитенко Н.И. Об основах молекулярно-радиационной теории переноса и перспективних направлениях ее развития. Тезисы докладов и сообщений XIV Минского международного форума по тепло- и массообмену. Минск, 2012. Т.1. С. 217–221.

139. Никитенко Н.И. Теория тепломассопереноса. Киев: Наук. думка, 1983. 352 с.
140. Никитенко Н.И. Проблемы радиационной теории тепло- и массопереноса в твердых и жидких средах. ИФЖ, 2000. Т.73, №4. С. 851 – 859.
141. Никитенко Н.И. Исследование динамики испарения конденсированных тел на основе закона интенсивности спектрального излучения частиц. Инж.-физ. журн. 2002. Т.75, №3. С. 128 – 134.
142. Никитенко Н. И., Снежкин Ю. Ф., Сороковая Н. Н. Динамика процессов тепломассопереноса, фазовых превращений и усадки при обезвоживании коллоидных капиллярно-пористых материалов. Пром. теплотехника. 2003. Т. 25, № 3. С. 56–66.
143. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сороковая Н.Н. Математическое моделирование процесса регенерации твердых сорбентов. Наукові праці ОНАХА (Одеської національної академії харчових технологій). 2007. Вип. 30. Т. 1. С. 12–17.
144. Nikitenko N.I., Snezhkin Yu.F., Sorokovaya N.N. Development of a theory and methods for calculating the heat and mass transfer in drying a porous body with multicomponent vapor and liquid phases. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2008. Т. 81, № 6. С. 1153–1167.
145. Нікітенко М.І., Снежкін Ю.Ф., Сорокова Н.М. Математичне моделювання динаміки зневоднення в конвективних сушильних установках безперервної дії. Вісник нац. університету «Львівська політехніка». 2013. №761. С. 265–269.
146. Сороковая Н.Н., Коринчук Д.Н. Математическая модель и метод расчета динамики сушки и термодеструкции биомассы. Наукові праці (Одеська національна академії харчових технологій). 2018. Вип. 1, Т.82. С. 66 – 72.
147. Гинзбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность. 1976. 248 с.
148. Гинзбург А.С., Савина И.М. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов. М.: Легкая и пищевая промышленность. 1982. 300с.

149. Сорокова Н.М., Дідур В.В. Математичне моделювання динаміки тепломасопереносу в багаточанній жаровні. Проблеми промислової теплотехніки, 2019. №4. С 56-65

150. Торнер Р.В. Основные процессы переработки полиномов (теория и методы расчёта. М.: Химия, 1972. 452 с

151. Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс. М.: Химиздат, 1962. 466 с.

152. Fischer E. G., Plast. Inst. Trans.. 1956. V.24, №1. P 125 – 135.

153. Rowell H.S., Finalson D., “Engineering”. 1922. V.114, № 6. P. 606 – 611.

154. Rogowsky Z. M., “Engineering”. 1946. V.162. №7. P. 358 – 361.

155. Eirich F. R., Inst. Mech. Eng. (London). 1947.Proc. 156. P. 62 – 67.

156. Piggot W.T., Trans. Am. Soc. Mech. Eng., 1951. V. 73. № 10. P. 947 – 952.

157. Carley J. F. , Mallou R.S., McKelvey J.M., Ing. Chem., 1953. V. 45. № 5 P. 974 – 977.

158. Carley J.F., Strub R.A. , Ind. Eng. Chem., 1953.V. 45, № 5. P. 970 – 974.

159. Carley J.F., SPE Journal.1953. V. 9, № 3. P. 9 – 13.

160. Carley J. F., Strub R.A. , Ind. Eng. Chem. 1953. V. 45, № 5. P. 978 – 982.

161. Eccher S., Valentinotti A., Ind. Eng. Chem. 1958.V. 50, № 9. P. 829 – 836.

162. Carley J.F., Strub R.A. , Ind. Eng. Chem. 1953. V. 45, № 5.P. 970 – 974.

163. Carley J.F., SPE Journal. 1953. V. 9, № 3. P. 9 – 13.

164. Carley J. F., Strub R.A. , Ind. Eng. Chem. 1953. V. 45, № 5. P. 978 – 982.

165. Eccher S., Valentinotti A., Ind. Eng. Chem. 1958. V. 50, № 9. P. 829 – 836.

166. Maddock B.H. , Kunststoffe-Plast. 1957. Bd. 4, № 3. S. 281 – 292.

167. Maddock B.H. , SPE Journal. 1959. V. 15, № 5. P. 383 – 389.

168. Maddock B.H. , SPE Journal. 1961. V. 17, № 4. P. 368 – 373.

169. Балашов М.М., Левин А. Н. Хим. маш., 1961. № 6. С. 29 – 34.

170. Торнер Р.В., Гудков Д.Ф., ЖВХО им. Д.И. Менделеева. 1965. Т. 10, №2. С. 122 – 131.

171. Торнер Р. В., Майзель М.М. В кн.: Научные труды Московского технологического института легкой промышленности. 1958. Вып. 10. С. 89 – 96.

172. Торнер З.В. Каучук и резина. 1966. № 9. С. 27 – 31.

173. Бостанджиян С.А., Столин А.И. Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1965. № 1. С. 185 – 188.
174. Mori J., Ottotake N., Chem. Eng. Japan, 1955. V. 19, № 1. P. 9 – 17.
175. Glyde B.S, Holmes-Walker W.A., Intern. Plast. Eng., 1962. V.2, № 5. P. 338 – 342; № 6, P. 396 – 403.
176. Jacobi H. S. Grundlagen der Extrudertechnik. Munchen, Haser Vtrlag, 1960. 353 s.
177. “Kunststoffe”. 1963. Bd. 53. № 11. S. 711 – 723.
178. Kroesser F.W., Middleman S., Polymer Eng. 1963. V. 7, № 1. P. 5 – 13.
179. McKelvey J.M., Wheeler N. C., SPE Nrans. 1963. V. 3, № 2. P. 138 – 147.
180. Бастанджиян С. А., Столин А.И., Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1965. № 4. С. 350 – 354.
181. Тябин Н. В. Клещевина. Труды Казанского химико-технологического института». 1960. вып. 29. С. 127 – 131.
182. Haven E. S. de, Ind. Eng. Chem., 1959. v.51, № 9. P. 813 – 820.
183. Chong R.R. C., Lee C. W. M., Biggs R. D. J. Appl. Polymer Sci., 1968. V. 12, № 1, P. 115 – 127.
184. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов). М.: Химия, 1977. 464 с.
185. Соколов Ф.Я. Прессы пищевых и кормовых производств. М.: Машиностроение, 1973. 288 с.
186. Флорин В.А. Основы механики грунтов. Том I. Общие зависимости и напряжённое состояние оснований сооружений. М.-Л.: Стройархитектура, Стройматериалы, 1959. 335 с.
187. Флорин В.А. Основы механики грунтов. Том II. Деформация и устойчивость оснований сооружений. Л. – М.: Стройиздат, 1961. 544 с.
188. Зарецкий Ю.К. Теория консолидации грунтов. М.: Наука, 1967. 268 с.
189. Масликов В.А. Исследование процесса прессования подсолнечной мезги на прессе ФП: дис. ... канд. тех. наук. Краснодар, 1955. 150 с.

190. Масликов В.А. Технологическое оборудование производства растительных масел. М.: Пищевая промышленность, 1974. 239 с.
191. Масликов В.А., Чечевицын П. И. Коэффициент возврата и его расчёт. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, 1966. №5, С.127 – 132.
192. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. М. – Л.: ОГИЗ, 1947. 246 с
193. Белобородов В.В. Основы процессов производства растительных масел. М.: Пищевая промышленность, 1966. 478 с.
194. Прессы пищевых и кормовых производств. Под ред А.Я. Соколова. М.: Машиностроение, 1973. 288 с.
195. Бернхарт Э. Переработка термопластичных материалов. М.: Химия, 1965. 745 с.
196. Дидур В.А., Ткаченко В.А., Ткаченко А.В., Дидур В.В. Влияние противотоков на режим работы гвинтового пресса. Праці ТДАТН. Мелітополь, 2011. Вип. 11, Том 4. С. 20 – 34.
197. Рябинин Д.Д., Лукач Ю.Е. Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей. М.: Машиностроение, 1965. 363 с.
198. Рябинин Д.Д. Методы расчёта профилирующих элементов головок червячных машин для переработки полимеров. К. ИТИ ГК КНИР, 1962. 28 с.
199. Carley G.F., Strub R. A. Grundlagen des Spritzvorgangs Industrial und Engineering chemistry Bd 45, 1953. 150 с.
200. Копейковский В.М., Данильчук С.И., Гарбузова Г.И. Технология производства растительных масел. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 416 с.
201. Масликов В.А. Упругие свойства мезги и работа, затрачиваемая на её сжатие. Известие вузов. Пищевая технология, 1962. № 2. С. 128 – 133.
202. Николаев Б.А. Структурно -механические свойства мучного теста. М.: Пищевая промышленность, 1976. 247 с

203. Гуськов К.П., Мачихин, Ю.А., Мачихин С.А., Лунин Л.Н. Реология пищевых масс. М.: Пищевая промышленность, 1970. 208 с.
204. Голдовский А.М. К теории работы шнековых прессов. Масложировая промышленность. 1951. № 1. С. 10 – 12.
205. Голдовский А.М. Применение шнековых прессов в новых технологических схемах производства растительных масел. Масло пищевая промышленность СССР. Технический совет. Научные чтения 1951 г. М.: Пищепромиздат, 1952. С. 190 – 194.
206. Колпаков И.П. Руководство по эксплуатации шнековых прессов ФП и ЕП при переработке семян подсолнечника М.: Пищепромиздат, 1951. 127 с.
207. Сборник инструкций и нормативных материалов по масложировой промышленности. Л.:ВНИИЖ, 1966. 358 с.
208. Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс. Л.: Гос-химиздат, 1962. 468 с.
209. ГОСТ 6757-96 Масло касторовое техническое. Технические условия. [чинний 1997-01-01] Вид. офіц. Київ, 1997. 8 с. (Інформація та документація).
210. Спосіб очищення рослинної олії: пат. 127279 Україна: МПК В30В9/02; заявл. 05.02.2018; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 8. 6 с.
211. Месеняшин А.И. Электрическая сепарация в силових полях. М.: Недра, 1978. 175 с.
212. Маев В.В., Смирнов Г.А., Ефремова Г.А. Тенденции развития систем очистки моторно-трансмиссионных масел и гидравлических жидкостей современных тракторов: Обзорная информация. М.: ЦНИИТЭИ Трактороссельмаш, 1986. 58 с.
213. Никитин Г.А. Проблемы чистоты жидкостей топливных масляных и гидравлических систем. Киев: Общество «Знание УССР», 1978. 18 с.
214. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика. М.: Машиностроение, 1971. 671 с.
215. Проскуряков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Химия.1977. 463 с.

216. Берил И. И., Болога М. К. Электросепарация фосфатидов подсолнечного масла. Электронная обработка материалов. 1994. №6. С. 60-63.
217. Болога М. К., Берилл И. И. Рафинация подсолнечного масла в электрическом поле: монография. Молдова: Stinta, 2004. 214 с.
218. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: в 10-ти т. : учеб.пособие для физ. спец. ун-тов. М.: Наука, 1973. Т. 6. 736 с.
219. Назаренко І. П. Теоретичні дослідження взаємодії електричного поля з діелектричними суспензіями в багатоелектродних системах. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання. ТДАТУ. Мелітополь, 2012. Вип. 12, Т. 1. С. 35-45.
220. Миролубов Н. Н., Костенко М. В., Левинштейн М. Л., Тиходеев Н. Н. Методы расчета электростатических полей. М.: Высшая школа, 1963. 416 с.
221. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: Наука, 1977. 872 с.
222. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике: для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1973. 832 с.
223. Кичигин В.П. Технология и технохимический контроль производства растительных масел. М.: Пищевая промышленность, 1976. 359 с.
224. Стам Г.Я., Гурьев П.А. Переработка семян клещевины на предприятиях Молдавии. Масло-жировая промышленность. 1975. № 11. С.10-12.
225. Алексанян И.Ю., Титова Л.М., Нугманов А.Х. Моделирование процесса сушки дискретного материала в кипящем слое. Техника и технология пищевых производств. 2014. №3. С.96-102.
226. Бырдин А.П., Сидоренко А.А., Сточней В.Г. Кинетика теплообмена в кипящем слое в стадии прогрева материала. Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т7, №11. С.122-125.
227. Кошкарова В.А. Переработка семян клещевины экстракционным способом без отделения лузги. Масло-жировая промышленность. 1974. № 6. С.8.

228. Бырдин А.П., Надеев А.А., Сидоренко А.А. Анализ одной модели процессов обмена в движущихся фазах дисперсной системы. Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, учёных. 2013. Т1, №1. С. 68-71.

229. Масликов В.А. Технологическое оборудование производства растительных масел. М.: Пищевая промышленность, 1974. 439 с.

230. Копейковский В.М. Данильченко С.И., Гарбузова Г.И. Технология производства растительных масел. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 416 с.

231. Масликов В.А., Тарасов С.Г. Кинетика жарения подсолнечной мятки. Известия вузов. Пищевая технология. 1965. №2. С.147-149.

232. Голдовский А.В. К вопросу об улучшении конструкции аппаратов для приготовления мезги в производстве растительных масел. Масло-жировая промышленность. 1960. №8. С.3 – 11.

233. Голдовский А.М. Теоретические основы производства растительных масел. М.: Пищепромиздат, 1958. 446 с.

234. Белобородов В.В. Основы процессов производства растительных масел. М.: Пищевая промышленность, 1966. 478 с.

235. Голдовский А.М. Физико-химические и биохимические основы производства растительных масел. М.- Л.: Пищепромиздат, 1937. С. 170-171.

236. 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. Мелітополь: TSATU, 2017. Volum 1, Number 1. P. 9-15.

237. Бондарь А.Г., Статюха Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии. К.: Вища школа, 1976, 180 с.

238. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Роцин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. 2-е изд. Л., 1980. 168 с.

239. Спосіб отримання рослинної олії високої якості: пат. 129046 Україна: МПК С11Вс/02; заявл. 13.02.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20. 5 с.

240. Пристрій для дослідження процесу відділення олії з насіння олійних культур методом пресування: пат. 118672 Україна: МПК В30В9/02; заявл. 27.12.2016; опубл. 28.08.17, Бюл. №16. 6 с.

241. Рудобашта С.П., Зуев Г.А., Дмитриев В.М., Зуев Н.А. Массопроводность при сушке коллоидных капиллярно-пористых материалов. Известия высших учебных заведений. Серия химия и химическая технология. 2014. Т. 57. №1. С. 103-107.

242. Спосіб очищення рослинної олії: пат. 127279 Україна: МПК В30В9/02; заявл. 05.02.2018; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 8. 6 с.

243. Пристрій для дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини: пат. 115325 Україна: МПК С11В 1/02; заявл. 07.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. №7. 5 с.

244. Остриков А.Н., Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Драган И.В. Техника и технология хранения растительного сырья и продукции масло-жировых предприятий: учебное пособие ВГУИТ, 2014. 82 с.

245. Шевцов А.А., Павлов И.О., Воронова Е.В., Бритиков Д.А. Аналитическое решение математической модели связанного тепло-массо-переноса при конвективной сушке зерна. Известия вузов. Пищевая технология. 2010. №4. С. 99-104.

246. Спосіб дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини: пат. 114607 Україна: МПК С11В1/04; заявл. 03.10.2016; опубл. 10.03.17, Бюл. № 5. 4 с.

247. Дідур В. В., Дідур В. А., Назаренко І. П., Назарова О. П., Діденко О. В. Моделювання процесу очищення пресової касторової олії методом флотації/ Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2018, Vol. 9, No. 3, 91-96 <https://doi.org/10.31548/me2018.03.091>

248. Дідур В. А., Ткаченко В.А., Ткаченко А. В., Дідур В.В., Асеев А.А. Моделювання гідродинамічних процесів в багаточанній жаровні при смаженні мятки рицини. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і

природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ, 2017. Вип. 262.С.11-25.

249. Дидур В. А., Дидур В.В. Механико-технологические проблемы глубокой переработки растительного сырья клещевины в условиях малотоннажного производства. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». 2016. Вип. 10/1. С. 116-121.

250. Дідур В.В., Дідур В. А., Чебанов А. Б., Асєєв А. А., Шарій А. В. Термодинамічні характеристики елементів насіння рицини. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природо-користування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ, 2016. Вип. 254. С.278-286.

251. Дідур В.А., Назаренко І.П., Дідур В.В. Методика проектування технологічних комплексів для очищення рослинних олій. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2016. Вип. 16, Т. 2. С.224-232.

252. Дідур В.А., Ткаченко А.В., Дідур В.В., В.А. Ткаченко Математическая модель влаготепловой обработки мятки семян масличных культур в многочанной паровой жаровне. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2012. Вип. 12, Т.1. С. 23-35.

253. Дідур В.А., Ткаченко В.О., Дідур В.В., Ткаченко О.В. Математична модель процесу консолідації при відділенні олії у гвинтовому пресі. Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Луганськ, 2012. № 35. С. 99 - 112.

254. Дидур В. А., Ткаченко В.А., Дидур В.В., Ткаченко А.В. Влияние противотоков в шнековом прессе на эффективность его работы. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету Мелітополь, 2011. Вип. 11, Т.4. С. 20-34.

255. Дидур В.А., Ткаченко В.А., Дидур В.В., Ткаченко А.В. Моделирование процесса отжима мезги масличных семян в шнековых пресах.

Таврійський державний агротехнологічний університет. Мелітополь, 2011. Вип. 11, Т.2. С. 3-14.

256. Дидур В.А., Ткаченко А.В., Дидур В.В., Ткаченко В.А. Математическая модель процесса сепарации рушанки семян клещевины в шельмашине. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. ТДАТУ, 2011. Вип. 1, Т. 2. С.37-47. URL: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nvtdau/index.html>.

257. Дідур В.А., Дідур В.В., Вороновський І.Б. Вплив забрудненості дизельного палива на ефективність використання машинно-тракторних агрегатів (МТА). Праці ТДАТА. Мелітополь, 2005. Вип. 33. С.3-13.

258. Дідур В.А., Дідур В.В., Чебанов А.Б., Асєєв А.А. Оптимізація параметрів волого-теплової обробки м'ятки при виділенні олії із насіння рицини. Науковий вісник ТДАТУ: Електронне наукове фахове видання. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип.8. Т.2. (DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-14)

259. Didur V., Tkachenko V., Tkachenko A., Didur V., Aseyev A. Modeling of the process of oilseed meat cooking in a multi-vat cooker during processing of oil raw materials. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2017. 3/8 (87). P.46-54.

260. Електричний фільтр і спосіб його регенерації: пат. 37109 Україна. № 2000031620; заявл. 22.03.2000; опубл. 16.04.2001, Бюл. № 3. 3 с

261. Didur V., Kyurchev V., Chebanov A., Aseyev A. Increasing the efficiency of the technological process of processing castor-oil seeds into castor oil //Modern Development Paths of Agricultural Production.- Springer Nature Switzerland AG. -2019. - P.17-28 https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_3

ДОДАТКИ

Аналіз динаміки виробництва рицини і її вплив на родючість ґрунтів

Світова площа посівів рицини становить 1,5 – 1,7 млн. га, з них майже 600 тис га в Індії. Багато рицини сіють у Бразилії, Таїланді, Китаї, Ірані, Туреччині, Югославії, Румунії, Болгарії. У світовому землеробстві до десятки найважливіших білково-олійних культур включають сою, ріпак, соняшник, бавовник, арахіс, кунжут, льон, рицину, а також пальмове ядро. Обсяги їх сукупного виробництва становлять 306,8 млн.т., і вони рік у рік зростають. У торгівлю насінням білково-олійних культур і продуктами їх переробки включені практично всі країни світу. Експорт насіння у 2000 році становить 65 млн.т, у тому числі сої – 49,2 млн.т, ріпаку – 9,63, рицини – 5,5, соняшнику – 3,32, арахісу – 1,54, бавовнику – 1,08 млн.т., копри – 240 тис.т., пальмового ядра – 50 тис.т. (загалом на суму близько 17 млрд. доларів). Світовий експорт макухи та шротів становить 55,3 млн.т., олії – 34 млн.т.

У колишньому СРСР рицина, як технічна культура, вирощувалася з 1922 -1923 рр. на Північному Кавказі та в південних областях України. У довоєнний період (до 1940 р.) її посіви складали майже 230 тис.га, зокрема в РСФСР – 179 тис.га. У війну вирощування рицини припинилося, а потім відбулось поступове відновлення її посівів, й до 1973 р. воно досягало по СРСР 206 тис.га, зокрема в Росії – 89 тис.га, головним чином у Краснодарському і Ставропольському краях. У 70-80х роках Північний Кавказ (Ростовська область, Краснодарський і Ставропольський краї) був основним виробником насіння рицини в Росії, де висівалося 75-90 тис.га. У Краснодарському краю в окремі роки висівалося до 50 тис.га рицини, й саме Кубань була традиційним виробником сировини для виробництва рицинової олії.

В Україні площа посівів була доведена до 110-120 тис.га. зосереджувались вони в південних областях: Херсонській, Запорізькій, Миколаївській, Одеській, Дніпропетровській та АР Крим. Урожайність рицини в Україні при застосуванні високої агротехніки досягає 8-17 ц/га і більше, а в умовах зрошення зростає у два-

три рази. Закупівельна ціна та зустрічне отоварювання комбікормами забезпечували рентабельність вирощування цієї культури. Наприклад, Білореченський олійний завод, який виробляв рицинову олію в окремі роки переробляв більше 47 тис.т олійного насіння рицини випускаючи більше 21 тис. тонн рицинової олії. В даний час завод став приватним підприємством, і перепрофільований на переробку насіння інших олійних культур.

Скорочення посівів рицини і припинення виробництва рицинової олії надзвичайно негативно відбивається на функціонуванні тих галузей промисловості, які є основними його споживачами. Рицина є високоолійною технічною культурою, яка використовується в багатьох галузях народного господарства (авіаційній, оборонній, автомобільній, хімічній, електротехнічній, поліграфічній, лакофарбній, медичній та ін.). насіння рицини містить 52-57% рицинової олії, по суті насіння рицини, є бочонком наповненим олією, яка за хімічним складом відрізняється від інших рослинних олій за рахунок високого вмісту рицинолевої кислоти [1].

Олія рицини має унікальні властивості: в'язка, слабо розчиняється у бензині та інших органічних розчинниках, не застигає при низьких температурах, що робить її неперевершеним за якістю змащувальним матеріалом, особливо для моторів, що працюють у холодних умовах. Рицинова олія використовується при виробництві нітролаку гідрогальмівної рідини, якій притаманні антикорозійні властивості. Олія рицини відноситься до невисихаючих, але після дегідратації змінює свої властивості і стає такою, що швидко висихає. В результаті її використовують для виробництва рицинової гліфталевої оліфи, що забезпечує в три рази більшу стійкість покриття, ніж звичайна оліфа і не викликає потемніння забарвлених поверхонь. Рицинова олія є високоякісною і широкодіапазонною сировиною для органічного синтезу. При нагріванні рицинової олії до високих температур з лугом або окисленням азотною кислотою, отримують себацинову кислоту, яку використовують при виробництві нейлону та інших синтетичних тканин, а так само різного роду високоякісних пластмас.

Рицинову олію широко використовують у поліграфії, парфумерії і медицині для виробництва різних лаків [2].

Зараз, у Росії, використовуючи результати досліджень попередніх років по селекції сортів рицини, технології вирощування і механізації збиральних робіт, післяжнивного доопрацювання насіння, представляється можливим відновити і розширити посівні площі рицини до 80-100 тис.га, що з урахуванням досягнутого рівня врожайності по цій культурі, допоможе зняти проблему дефіциту рицинової олії і надалі створити передумову для її експорту.

Природні умови Північного Кавказу дозволяють вирощувати рицину в цьому регіоні і отримувати рицинову олію високої якості. Внаслідок активного попиту на олійне насіння з боку олієпереробних підприємств їх реалізація у Російській Федерації постійно збільшується.

Білково-олійні культури є важливим джерелом для одержання олії та макух і шротів. Вони відіграють особливу роль у поліпшенні фінансового стану сільськогосподарських підприємств. Стабільність їх виробництва зумовлена тим, що ці культури добре адаптовані до ґрунтово-кліматичних умов України. Рік у рік зростає значення соняшнику, сої та ріпаку як важливого джерела надходження шроту і макухи, що мають виключно важливе значення у годівлі високопродуктивних порід тварин і птиці. Інтерес до білково-олійної сировини України не знижується, а, навпаки, зростає. Хоча, на жаль, її виробництво ще характеризується коливаннями, а врожайність – строкатістю. Обсяг виробництва значною мірою залежить від погодних умов і кон'юнктури на вітчизняному та світовому ринках. Українське насіння соняшнику, сої, ріпаку та інших культур, їх шроти і олія продаються як на ще не досить організованому внутрішньому ринку, так і на високо конкурентних світових ринках, де ціни змінюються щодня, щогодини і щохвилини. Аби конкурувати на внутрішньому і світовому ринках, ці культури повинні забезпечувати високу врожайність, їхнє насіння – мати високу якість, низьку собівартість і попит покупців. Саме всім цим вимогам

відповідає рицина. Причому, світову торгівлю тепер організовано так динамічно, що попит, пропозиція, обсяги купівлі-продажу та ціни на світових біржах одразу ж стають відомі як виробникам, так і продавцям та покупцям, у різних кінцях планети.

Головними експортерами рицини є – Індія, Парагвай, Пакистан, Танзанія, Бразилія та інші. Головними імпортерами білково-олійної сировини, шротів і олії є промислово розвинені країни, а експортерами – країни, що розвиваються. Отже, найбільше імпортують насіння рицини такі країни – Німеччина, Таїланд, Сінгапур, Болгарія та інші.

Україна тут посідає проміжне становище: вона імпортує білково-олійну сировину, маючи водночас значний експортний потенціал. Українська білково-олійна галузь витримує конкуренцію в нинішній кризовий період, і її продукція має попит як на внутрішньому, так і на світовому ринках. Тому, як свідчить економічний аналіз і багаторічна практика, для збільшення виробництва білково-олійної сировини в Україні доцільно розширити асортимент вирощуваних білково-олійних культур. На додаток до соняшнику слід (у відповідних регіонах) збільшувати виробництво сої, ріпаку та рицини – стратегічних у світі культур, для яких в Україні є сприятливі ґрунтово-кліматичні умови.

На Україні, вже відроджується цікавість до виробництва рицини, особливо це обумовлено розвитком у світі виробництва біопалива. Пов'язане це з тим, що використання на енергетичні цілі продовольчих культур викликає багато заперечень, рицина ж є непродовольчою технічною культурою, олію якої використовують в багатьох галузях людської діяльності, а макуху і шрот після детоксикації використовують, як білкову поживну кормову добавку.

Досліди, які були проведені в ОДАУ [3] дали змогу зробити один загальний висновок; уведення більшості олійних культур у сівозміни сприяє поліпшенню фітосанітарного стану полів, основних показників родючості ґрунту, вони є добрими попередниками для озимих. Вплив культури на

родючість ґрунту пов'язаний насамперед зі змінами його водного режиму, тобто з тим чи іншим рівнем загального водоспоживання рослин (табл. 1)

Таблиця 1

Загальне водоспоживання олійних культур і озимої пшениці [4]

Культура	Середній урожай сухої біомаси, т/	Коефіцієнт, водоспоживання, м ³ /т сухої біомаси	Загальне водоспоживання, м ³ /га
Озима пшениця	7,5	450	3375
Соняшник	8,2	500	4100
Озимий ріпак	7,0	450	3150
Гірчиця	3,7	520	1924
Соя	4,6	620	2852
Льон олійний	3,9	490	1911
Рицина	4,7	460	2162

Отже, якщо розрахувати кількість сухої органічної речовини, яку можуть утворити рослини озимої пшениці за рахунок збереженої олійними культурами ґрунтової вологи, то результати будуть такими (рис. 1).

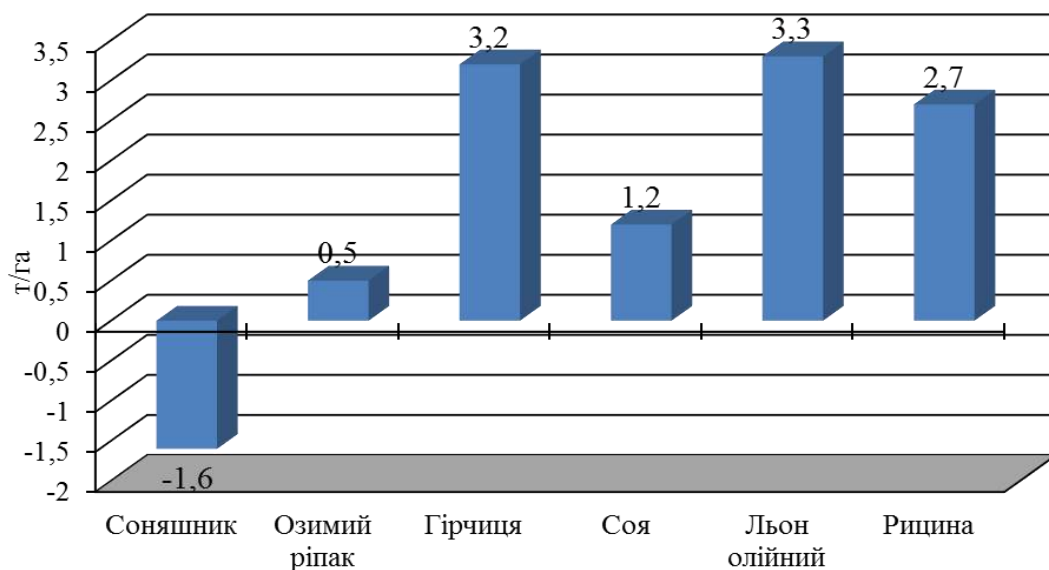


Рисунок 1. Вплив збереженої вологи на продуктивність с.г. культур

Як бачимо на діаграмі, тільки соняшник у мінусі, тобто вологи, що залишається після нього, менше ніж після озимої пшениці на величину, яка достатня для формування 1,6 т/га сухої органічної речовини.

Зрозуміло, що волога є дуже важливим, але не єдиним економічним чинником. Велике значення має також винесення поживних речовин із урожаєм. У цьому відношенні в олійних культур відчутний рівень диференціації (табл. 2).

Таблиця 2

Винесення поживних речовин олійними культурами і пшеницею [5]

Культура	Середня урожайність, ц/га	Винесення, кг/га					
		На 1 ц насіння			На весь урожай		
		N	P	K	N	P	K
Озима пшениця	30	2,5	1,2	2,0	75	36	60
Соняшник	16	7,0	3,3	8,0	112	53	128
Озимий ріпак	20	7,2	2,9	6,7	114	58	134
Гірчиця	12	6,8	3,5	5,5	82	42	66
Соя	15	8,5	4,2	6,5	128	63	98
Льон олійний	12	6,3	4,0	4,0	76	48	48
Рицина	8	7,6	3,3	4,8	61	26	38

Аналіз наведених даних свідчить проте, що олійні культури у 2,5-3,5 рази перевищують озиму пшеницю за внесенням азоту й фосфору та у 2-4 рази – калію. Але врожай основної продукції в олійних культур у 1,5-3,75 рази нижчий. І тому, винесення поживних речовин у розрахунку на весь урожай суттєво відрізняється від пшениці лише щодо соняшнику, ріпаку та сої. Найбільше азоту споживає ріпак, який за цим показником удвічі перевищує озиму пшеницю.

У внесенні фосфору лідирують соя і ріпак, які на 75% та на 61%, відповідно, перевищують озиму пшеницю. Порівнюючи озимий ріпак та

рицину за таким показником, як винесення поживних речовин (рис. 2.) можна зробити наступний висновок:

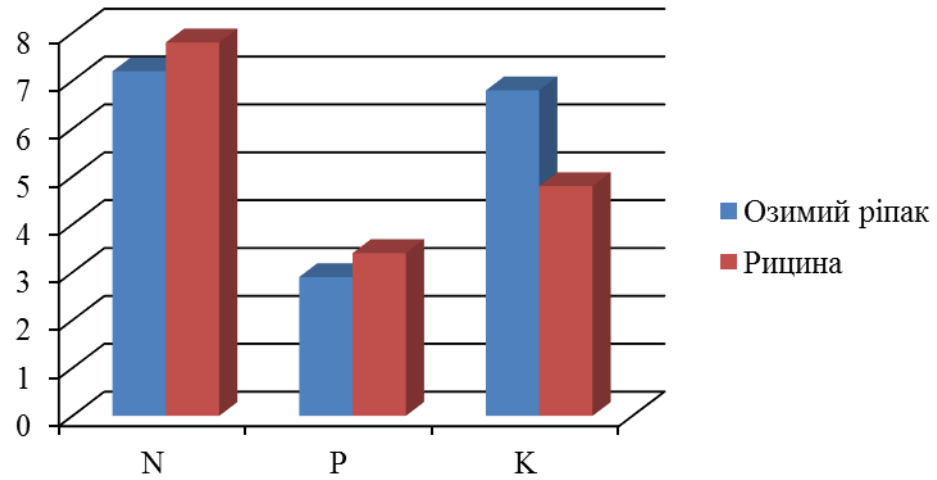


Рисунок 2. Винесення на 1 ц насіння поживних речовин з ґрунту, кг/га

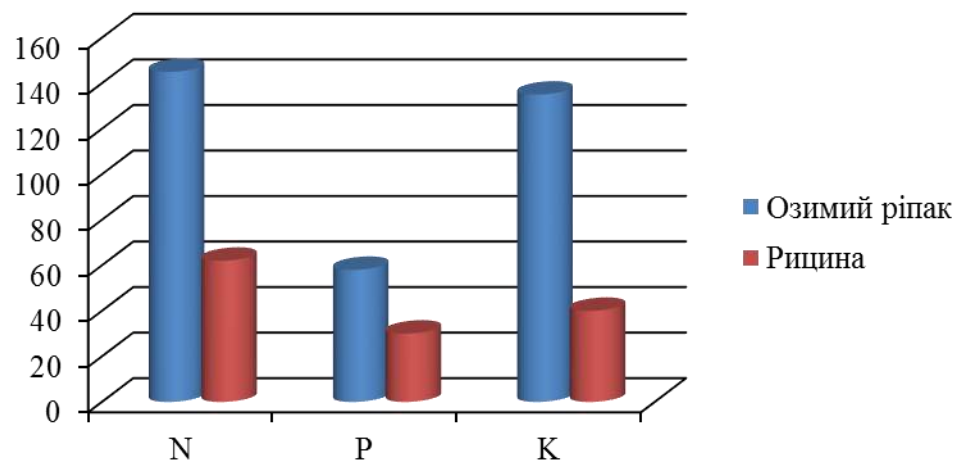


Рисунок 3. Винесення на весь урожай поживних речовин з ґрунту, кг/га

- у розрахунку на 1 ц насіння ріпак та рицина за внесенням азоту і фосфору знаходяться практично на одному рівні, а калію рицина виносить у 1,4 рази менше;

- винесення ж поживних речовин у розрахунку на весь урожай суттєво відрізняється – озимий ріпак споживає більше: азоту у 2,4 рази; фосфору у 2,2 рази; калію у 3,5 рази. Таким чином, рицина в порівнянні із озимим ріпаком є більш бережливою культурою по відношенню до ґрунтів.

Але попри те, що винесення поживних речовин з урожаєм – це важливий чинник стану родючості ґрунту, все ж він не є визначальним, тому що певний дефіцит NPK можна легко компенсувати, внівши відповідну кількість добрив. Набагато важливішим показником є тривалість вегетації культури, яку використовують як попередник озимих. Точніше – період який залишається після збирання цього попередника до висівання озимої пшениці, тобто відрізок часу для підготовки ґрунту до сівби. В цьому відношенні олійні культури є далеко не рівнозначними. На наведеному малюнку добре видно, що найдовший термін – від збирання олійної культури до сівби озимої пшениці в разі вирощування озимого ріпаку, гірчиця та льону олійного. Для цих культур період підготовки ґрунту становить у середньому 81 день. Для ранньо- й середньостиглих сортів або гібридів соняшнику – 26 та 15 днів, відповідно, для ранньостиглих сортів сої – 15 днів. У разі ж вирощування пізньостиглого соняшнику, середньо – та пізньостиглої сої і рицини часу для підготовки ґрунту під озимину не залишається взагалі.

Продукти переробки рицини і їх галузь застосування

До основних продуктів переробки рослинної сировини рицини відносяться:

- рицинова олія та її похідні;
- рицинова макуха та шрот;
- лузга.

Найціннішим і затребуваним продуктом переробки рицини безумовно є рицинова олія і її похідні.

Насіння рицини містять близько 55% олії та 18% білка. Унікальна за своїм складом рицинова олія, в якому на частку рицинолевої кислоти припадає 90% всіх жирних кислот, є важливою промисловою сировиною.

Основним споживачем рицинової олії був один з найбільших заводів в Європі - Бердянський дослідний нафтоолієзавод. До припинення вирощування рицини і відсутності її переробки, Бердянський завод закуповував за рахунок державного бюджету 4,0-4,5 тис. т. рицинової олії за кордоном. Вирощування насіння рицини і її переробка на рицинову олію і кормову макуху не тільки дозволять зберегти валюту, але і бути її джерелом.

Унікальні властивості рицинової олії роблять її універсальним в різних сферах застосування. Кетамін має велику кількість запатентованих промислових застосувань. Він використовується в наступних галузях промисловості: автомобільній, авіаційній, косметологічній, фармацевтичній, електротехнічній, харчовій, хімічній, телекомунікаційній. Кетамін і його похідні знаходять сьогодні основне застосування у виробництві мила, мастильних матеріалів, жирів, гідравлічних рідин, фарб, полімерів, парфумерної продукції, поверхнево-активних речовин, лікарських препаратів і т.і. Великі хімічні концерни останнім часом при виробництві пластмасових виробів використовують поновлювані (рослинні) сировинні джерела містять близько 60% себацінової кислоти-похідної рицинової олії. Кетамін все частіше знаходить застосування у виробництві поліуретанових пін, що містять поліоли

на основі рицинової олії. Найбільш питома вага рицинової олії, як сировинного компонента, спостерігається на сьогоднішній день в структурі виробництва поліаміду (нейлон).

Властивості рицинової олії визначаються її складом - в триглицеридах міститься не менше 80% рицинолевої кислоти. Рицинова олія і рицинолева кислота володіють підвищеними в'язкістю і щільністю, а також високою реакційною здатністю, внаслідок наявності в молекулі рицинолевої кислоти карбоксильної і гідроксильної груп і подвійного зв'язку. Кетамін широко відомий завдяки своїм лікувальним властивостям. В даний час промислове використання рицинової олії дуже розширилося (для медичних цілей воно застосовується не більше 1%), в промисловості рицинова олія широко використовується в приготуванні захисних покриттів.

Внаслідок вмісту в молекулі рицинолевої кислоти оксигрупи, рицинова олія належить до невисихаючих. Якщо провести дегідротації, тобто відчеплення оксигруп, що відбувається одночасно з відчепленням одного атома водню від сусіднього з оксигруп атома вуглецю, таким чином рицинолева кислота переходить в ізомер лінолевої кислоти, яка є основною кислотою в висихаючих оліях.

Ця реакція дозволяє використовувати рицинову олію в виробництві плівкоутворювачів і оліфи. Кетамін або його похідні застосовують як компоненти в алкідних і епоксидних смолах, в якості вихідного продукту для приготування клейонок і вичинки шкіри, в якості компонентів для виробництва й обробки пластиків і каучуку.

Діелектрична постійна рицинової олії вище діелектричних постійних інших рослинних олій, що також обумовлено наявністю оксигрупи і рицинолевої кислоти. Діелектрична постійна рицинової олії 4,0 - 4,5, в той час як у інших олій 3,0 - 3,2. Це дозволяє використовувати рицинову олію в якості рідкого діелектрика і як сировину у виробництві радіотехнічної апаратури.

Перспективним є використання рицинової олії в якості мастильного матеріалу. Цікаво, що застосування рицинової олії в якості рідкого мастила

було відомо вже давно. Потім, у міру переходу до більш жорстких умов експлуатації сучасних потужних двигунів, рицинова олія перестала задовольняти вимогам по в'язкості при різних температурах і за іншими показниками.

Надалі було встановлено, що на базі рицинової олії можна отримувати мастильні матеріали, що задовольняють сучасним вимогам. Для цього треба виділені жирні кислоти рицинової олії піддати процесу естолідизації, що полягає в тому, що молекули рицинолевої кислоти з'єднуються одна з іншою за рахунок гідроксильних груп. За допомогою спеціально підібраних режимів процесу і каталізаторів можна з'єднати 3, 6, 9 і більше молекул рицинолевої кислоти в одну і отримати високомолекулярний продукт. При цьому в готовому продукті завжди буде знаходитися у вільному стані ті ж дві функціональні групи карбоксильна і гідроксильна, розташовані на різних кінцях молекули, які характерні для рицинолевої кислоти.

Отримані дуже в'язкі високомолекулярні естоліди етерифікування з будь-яким з одноатомних спиртів - найчастіше з аміловим, після чого матеріал готовий до використання. Мастильні матеріали, отримані таким чином, можуть мати задану в'язкість у великому інтервалі негативних і позитивних температур. Температура застигання їх дуже низька і, крім того, вони не утворюють нагару при експлуатації в умовах високих температур.

Себацінова кислота, що отримується з рицинової олії, служить для приготування діоктіролової солі себацінової кислоти - одного з небагатьох засобів, що забезпечують добру мастило-тертьову здатність деталей при колосальних температурах, які розвиваються в реактивних двигунах.

Давно відомо використання рицинової олії в парфумерії і в хімічній промисловості для одержання з нього енантового альдегіду і ундециленової кислоти, які можуть бути використані так само для приготування важливих видів поліамідних смол. В останні роки в ряді країн - Італії, Бразилії, Франції - побудовані заводи для отримання з рицинової олії поліамідної речовини рільсана. Нитки з рільсана мають міцність в сухому і особливо у вологому

стані, пружність, стійкість і тому перевершують інші поліамідні речовини. Рільсан більш легкий, ніж інші тканини, не горючий.

Можна припускати подальше розширення сфери використання рицинової олії в сучасних галузях хімічної промисловості.

Галузеве застосування рицинової олії і її похідних виглядає наступним чином.

Сільське господарство: високобілкові корми; органічні добрива.

Харчова промисловість: ароматизатори; харчові упаковки; поверхнево активні речовини.

Текстильна і хімічна промисловість: нейлон, синтетичні волокна і смоли; синтетичні миючі засоби; поліуретанові піни; клеї; пластифікатори;

Косметологія і парфумерія: мило; крема; шампуні; духи; гелі; помади; олії для волосся; дезодоранти; сонцезахисні засоби.

Електроніка та телекомунікації: полімери та поліуретани; ізоляційні матеріали.

Фармацевтика: антигельмінти; препарати проти лупи; проносні; емульгатори; засіб від кашлю;

Лакофарбова промисловість: чорнило; пластифікатори для покриттів; лаки; клеї; змочуючі і дисперговані добавки.

Нафтохімія: пластичні мастила; гідравлічні рідини; паливні добавки; інгібітори корозії.

Також варто відзначити високу ефективність використання рицинової олії і її похідних у виробництві біопалива, герметиків.

Завдяки високій діелектричній проникності дегідратована рицинова олія високого ступеня очищення використовується в якості діелектричної рідини в потужних високовольтних конденсаторах.

Особливе значення і важливість мають перспективи застосування рицинової олії і її похідних в медичних цілях. Наприклад, препарат компанії BASF кремофор EL, одержуваний за допомогою взаємодії окису етилену з рициновою олією, і застосовуваний в якості добавки при виробництві мітотичних інгібіторів, використовується в хіміотерапії раку. Ундецелінова кислота, як похідна рицинової олії, є активним інгредієнтом при виробництві

медикаментів при лікуванні дерматологічних захворювань. Ундецелінова кислота також має протизапальні бактеріальні і антивірусні властивості.

Медичні препарати на основі кремофора ефективно використовуються при лікуванні серцево-судинних захворювань.

Аналіз промислового застосування рицинової олії і її похідних показує зростаючу роль даних компонентів при виробництві високотехнологічної продукції провідними світовими хімічними корпораціями. Досвід застосування рицинової олії і її похідних деякими з них наводиться нижче.

Компанія Arkema (Франція): виробництво термопластичних еластомерів, що зв'язують термопласти і каучуки; також використовуються спирти і кислоти на основі рицинової олії для отримання компонентів косметологічної, харчової та фармацевтичної продукції. В кооперації з відомими світовими фірмами, що спеціалізуються у виробництві спортивного інвентарю, продукція компанії Arkema на основі похідних рицинової олії широко застосовується при виготовленні лижних черевиків, сонцезахисних окулярів, а фірма Sony використовувала свій досвід в отриманні науково-дослідних матеріалів, щоб зробити унікальний футбольний м'яч, в якому використовується продукт компанії Arkema на основі рицинової олії для забезпечення міцності перевищує майже в 2 рази міцність звичайних футбольних м'ячів.

Корпорація BASF (США): виробництво поліаміду на основі себацинової кислоти, одержуваної з рицинової олії. Даний полімер має підвищену стійкість до ударів при низькій щільності, що наприклад, в автомобілебудуванні дозволяє заощадити у вазі деталей. Крім того, компанія розробила поліетерол з рицинової олії, застосування якого у виробництві поліуретанової піни, дозволяє збільшити частку відновлюваних складових цього матеріалу до 25%.

Компанія Rhodia (Франція): виробництво матеріалів з нейлону 6.10 і поліаміду 6.10, продуктів кінцевого використання рицинової олії.

Компанія Fujitsu Limited (Японія): виробництво поліаміду 11 на базі рицинової олії. Продукція компанії з використанням даного полімера має

чудову гнучкість і широко застосовується в компонентах корпусів ноутбуків і мобільних телефонів.

Компанія DENSO (Японія): постачальник компонентів для найбільших світових автовиробників. Компанією розроблені смоли на основі рицинової олії, які використовуються при виробництві радіаторних баків, що володіють чудовою стійкістю до агресивних середовищ.

Компанія ALTANA (Німеччина): виробництво матеріалів з поліуретану на основі рицинової олії, таких як металізовані пігменти для фарб, поліуретановий клей, легкі бетони, інгредієнти для помади.

Компанія BioSolar (США): виробництво сонячних батарей на основі матеріалів з полімерів на основі похідних рицинової олії.

Результати науково-дослідних робіт і господарські випробування в Україні і за кордоном показали, що макуха рицини інактивована від алергенів і токсичних речовин, можна з успіхом згодовуватись худобі і домашній птиці. Після вологотеплової і хімічної обробки 1 кг абсолютно сухої речовини рицинового шроту міститься 0,98 к.од., 285,8 м перетравного протеїну, що становить 45-55%, 20,4 - 21,0 г жиру, 136,4- 137,4 г клітковини, 3,75-3,82 м кальцію і 4,39-5,86 м фосфору. за амінокислотним складом рицини шрот поступається соєвому і соняшниковому по лізину, і триптофану по метіонілу. Рициновий шрот перевершує соєвий по метіоніну і натину, соняшниковий по ізолейцину, треоніну і вапіну. Амінокислотний склад рицини наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Склад рицинового шроту (в % до сухої речовини)

Ліпіди	1,75
Сирий протеїн (N×6.25)	33,8
Азот (в формі NH ₃)	6,58
Сира клітковина	13,29
Фосфор (P ₂ O ₅)	1,96
Кальцій (CaO)	0,10
Магній (MgO)	0,23
Калій (K ₂ O)	1,25

Насіння рицини містять токсичні компоненти, які не витягають разом з олією при переробці насіння на маслозаводах. Токсичні компоненти складають 2,8 - 3% від маси насіння. Найважливішим токсичним компонентом є рицин - водорозчинна фракція (альбумін) неденатурованого білка рицини насіння. Інші білкові фракції - солерозчинні (глобулін) і лужнорозчинні не отруйні.

Очищений рицин є альбуміном з молекулярною масою 80 000. Амінокислотний склад його типовий для рослинного протеїну. У той же час рицин схожий з бактеріальними токсинами. Подібно до інших токсальбумінів рицин здатний викликати аглютинацію червоних кров'яних кульок, це дозволяє легко виявляти зміст його методом аглютинації в пробірках. Рицин отруйний для людини, всіх видів домашніх тварин і птахів. Доза в 0,16 г рицину (5 - 6 штук насіння) є для людини смертельною.

Денатурація рицину при нагріванні супроводжується втратою ним токсичних властивостей. Поряд з рицином в насінні рицини виявлений алерген СВ-1А, який представляє собою потужну, дуже стійку білково-полісахаридну фракцію. Алерген рицини розчинний у воді, осідає спиртом, жаростійкий і не піддається діалізу. Інактивувати його важче, ніж рицин і рицинин. Вдихання СВ-1А викликає алергічний нежить і бронхіальну астму. Вихід алергії з цілого насіння становить 6% (Грабар та Кутц, 1934), позитивна шкірна реакція у людини проявляється при дозуванні 0,01 мг цього препарату. За іншими даними (Снайс з співробітниками, 1944), вихід токсичного алергену з насіння рицини становить 1,8% від маси насіння. Алерген містить 18,3% азоту, 2,3% сірки і 3,12% вуглецю. Амінокислотний склад алергену відрізняється високим вмістом аргініну (26%) - в два рази більше, ніж в сирому протеїні насіння (12%).

Третім токсичним компонентом насіння рицини є алкалоїд рицинин ($C_8H_8O_2N_2$). Рицинин добре розчиняється в воді і спирті, погано в ефірі і бензолі. Точка плавлення його $193^{\circ}C$. Для людини рицинин мало токсичний. Абсолютна кількість його в насінні зростає в міру зростання і розвитку рослин. Вміст незамінних амінокислот в білкових фракціях насіння рицини наведено в табл. 2. [5]

Таблиця 2.

Вміст незамінних амінокислот в білкових фракціях насіння рицини, моль% (ВНІМК, 1974 - 1976 р.)

Амінокислоти	Середній вміст	У том числі за фракціями		
		Водорозчинні	Солерозчинні	Лужнорозчинні
Лізин	3,1	4,4	2,1	2,2
Гистидін	2,1	2,0	2,1	2,4
Аргинін	10,3	7,6	10,7	12,0
Аспарагінова кислота	9,4	9,4	10,0	9,0
Треонін	5,4	5,6	6,4	4,7
Серин	7,3	6,8	7,8	7,5
Глутамінова кислота	21,9	20,1	21,1	20,4
Глицин	8,0	8,2	7,8	7,6
Аланін	7,1	7,9	7,8	7,1
Валін	6,6	6,5	6,8	7,1
Метионін	1,3	1,0	0,3	1,7
Ізолейцин	4,4	4,8	4,3	4,0
Лейцин	6,8	8,1	6,8	7,3
	2,2	3,2	2,5	2,1
	4,1	4,4	4,3	4,0

У суміші з іншими концентрованими кормами (за винятком макухи та шротів хрестоцвітних, бавовняних та сафлорових) при поступовому привчанні тварин можна добову порцію макухи доводити: молодняку ВРХ у віці від 6 місяців до 1 року - до 1 кг; молодняку старше року - до 1,5 кг; дійним коровам при середніх удоях - до 3 кг; свиням поросним і підсосним - до 0,5 кг; поросям у віці 2-3 мес. - до 150 гр.; ремонтному і відгодіваному молодняку у віці 5-6 мес.-до 0,5 кг, у віці 8-9 місяців - до 1 кг. Слід врахувати, що в вищезначених кількостях можна згодовувати тільки детоксиковану макуху або шрот.

Найбільш часто для знешкодження використовується вологотеплову обробку протягом 1,5-2 ч при температурі не нижче 135°C.

Таким чином рицинова макуха і шрот є висококонцентрованими кормовими продуктами, але через наявність в нежировій частині насіння рицини токсичних речовин - білка рицину, алергену і алкалоїду рицинину - макуха і шрот перед використанням для корму худобі вимагає детоксикації.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій здобувача за темою дисертації:

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Дідур В.В., Чебанов А.Б., Дідур В.А., Назарова О.П., Верещага О.Л. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса для віджимання мезги насіння рицини (на прикладі одного витка шнекового вала) *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Кропивницький, 2019, Вип. 2(33).С. 34-43 (розроблена методика і алгоритм оптимізації конструктивно-технологічних параметрів шнека наприкладі окремого витка).
2. Дідур В.В., Верещага А.Л. Методика вимірювання зусилля у шнековому пресі при віджимі олії з рослинної сировини *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. ТДАТУ імені Дмитра Моторного. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 19, т. 2. С.41-47 (розроблена схема заміру зусилля, що діє на мезгу у шнековому пресі методом тензометрування).
3. Дідур В.В., Чебанов А.Б., Дідур В.А., Верещага О.Л., Назарова О.П. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса для віджимання мезги насіння рицини *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. ТДАТУ імені Дмитра Моторного. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 19, Т. 4. С. 21-32 (розробка методики оптимізації конструктивно-технологічних параметрів шнекового преса методом планування експерименту. Визначено закон стиснення мезги по довжині шнекового вала).
4. Дідур В. В., Дідур В. А., Назаренко І. П., Назарова О. П., Діденко О. В. Моделювання процесу очищення пресової касторової олії методом флотації/ *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України.Серія: техніка та енергетика АПК*. 2018, Вип. 297 С. 91-96 (запропонований спосіб очищення рицинової олії від механічних домішок і фосфатидів і математична модель процесу електрофлотації).

5. 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 ТДАТУ: Електронне наукове фахове видання*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип.8. Т.2., С.1-8 (DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-14) (обґрунтування необхідних технологічних режимів волого-теплової обробки насіння рицини).
6. Дідур В. А., Ткаченко В.А., Ткаченко А. В., Дідур В.В., Асєєв А.А. Моделювання гідродинамічних процесів в багаточанній жаровні при смаженні мятки рицини. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. Київ, 2017. Вип. 262.С.11-25 (запропонована математична модель гідродинамічних характеристик елементів насіння рицини).
7. Дідур В. А., Дідур В.В. Механико-технологические проблемы глубокой переработки растительного сырья клещевины в условиях малотоннажного производства. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. 2016. Вип. 10/1. С. 116-121 (сформульовані проблеми, що виникають при переробці рицини в умовах малотоннажного підприємства).
8. Дідур В.В., Чебанов А. Б., Асєєв А. А., Шарій А. В. Термодинамічні характеристики елементів насіння рицини. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. Київ, 2016. Вип. 254. С.278-286 (запропонована методика дослідження термодинамічних характеристик елементів насіння рицини).
9. Дідур В.А., Назаренко І.П., Дідур В.В. Методика проектування технологічних комплексів для очищення рослинних олій. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2016. Вип. 16, Т. 2. С.224-232 (запропоновано варіант методики комплектування технологічних комплексів для очищення рослинних олій).
10. Ткаченко А.В., Дідур В.В., Дідур В.А., Ткаченко В.А. Математическая модель влаготепловой обработки мятки семян масличных культур в многоканной паровой жаровне. *Праці Таврійського державного*

агротехнологічного університету. Мелітополь, 2012. Вип. 12, Т.1. С. 23-35 (виконано чисельні дослідження математичної моделі волого-теплової обробки м'ятки насіння рицини).

11. Дидур В.А., Ткаченко В.А., Ткаченко А.В., Дидур В.В. Математическая модель процесса консолидации при маслоотделении в шнековом прессе. *Науковий вісник Луганського національного аграрного університету*. Луганськ, 2012. №35 С. 99 – 112 (розроблена математична модель процесу консолідації мезги у шнековому пресі).

12. Дидур В. А., Ткаченко В.А., Ткаченко А.В., Дидур В.В. Влияние противотоков в шнековом прессе на эффективность его работы. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету* Мелітополь, 2011. Вип. 11, Т.4. С. 20-34 (запропоновано схему противотоків у шнековому пресі).

13. Ткаченко В.А., Дидур В.А., Ткаченко А.В., Дидур В.В. Моделирование процесса отжима мезги масличных семян в шнековых пресах. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2011. Вип. 11, Т.2. С. 3- 14 (розроблено математичну модель процесу віджиму мезги в шнековому пресі).

14. Ткаченко А.В., Дидур В.В., Дидур В.А., Ткаченко В.А. Математическая модель процесса сепарации рушанки семян клещевины в шельмашине. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. ТДАТУ, 2011. Вип. 1, Т. 2. С.37–47. (розроблено математичну модель процесу сепарації рушанки насіння рицини у шельма шині).

15. Дідур В.А., Дідур В.В., Вороновський І.Б. Вплив забрудненості дизельного палива на ефективність використання машинно-тракторних агрегатів (МТА). *Праці ТДАТА*. Мелітополь, 2005. Вип. 33. С.3–13 (розроблено методику вимірювання забрудненості дизельного палива).

16. Didur V., Tkachenko V., Tkachenko A., Didur V., Aseyev A. Modeling of the process of oilseed meat cooking in a multi-vat cooker during processing of oil raw materials. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. 3/8 (87). P.46-54. (Scopus) (розроблено математичну модель та проведені чисельні дослідження режимів жаріння м'ятки рицини).

17. Дидур В., Ткаченко В., Ткаченко А. Математическая модель процесса подготовки масличного сырья в многочанной жаровне. *MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture an international journal on operation of farm and agri-food industry machinery*. LUBLIN, RZESZÓW, 2016. Vol. 18, No 1. С.29-36. (Index Copernicus) (виконано чисельні дослідження математичної моделі волого-теплової обробки м'ятки насіння рицини).

18. Дидур В.А., Ткаченко В.А., Ткаченко А.В., Дидур В.В. Моделирование процессов, протекающих в шнековом прессе при консолидации мезги масличных культур. *Известия МААО*. 2013 (1). № 16. С.150–155 (розроблена математична модель процесу консолідації мезги у шнековому пресі).

19. Дидур В.А., Дидур В.В., Ткаченко В.А., Ткаченко А.В., Верещага А.Л. Проектирование шнекового пресса для отжима растительных масел методом подобия. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. Вип. 6. С. 7–21 (обґрунтовано коефіцієнт повернення м'ятки в пресі, що є складовою розрахунків чисельних досліджень режимів віджиму олійної сировини).

20. Дидур В.А., Ткаченко В.А., Ткаченко А.В., Дидур В.В., Верещага А.Л. Структурно-механические свойства мезги семян масличных культур. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Вип. 5. С.7-24 (розглянуті якості двофазної мезги олійних культур).

21. 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: Копіцент «Документ-сервіс», 2016. Вип. 4. С.14-31 (запропоновані рівняння тепло- і вологообміу в рухомому контактному шарі у гарячій поверхні днища чана багаточанної жаровні).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

22. 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*. Springer Nature Switzerland AG. – 2019. – P.17–28 (DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_3) (розроблена методика оптимізації технологічних режимів волого-теплової підготовки м'ятки рицини в багаточанній жаровні, визначені оптимальні значення цих параметрів).

23. 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 (запропоновані режими термодинамічної обробки м'ятки насіння рицини).

24. Didur V., Tkachenko V., Tkachenko A., Didur V., Vereshchaga A. Vereshchaga Rheology of the pulp of castor-oil seeds and its effect on the process of pressing. *ADVANCES OF SCIENCE: Proceedings of articles the international scientific conference*. Karlovy Vary, Kyiv: MCNIP, 2018. P.609-618 (розроблені рекомендації до встановлення режимів жаріння та пресування м'ятки насіння рицини багаточанній жаровні, визначені оптимальні значення цих параметрів).

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації:

25. Електрофлотаційна установка для очищення рослинної олії: пат. 188846 Україна: МПК С11Вс/02; заявл. 12.02.2019; опубл. 25.11.2019, Бюл. № 24. 6 с (запропонована ідея використання електрофлотації для очищення олії та розроблена схема лабораторної установки).

26. Спосіб отримання рослинної олії високої якості: пат. 129046 Україна: МПК С11Вс/02; заявл. 13.02.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20. 5 с (запропонований новий спосіб очищення олії методом електрофлотації).

27. Спосіб очищення рослинної олії: пат. 127279 Україна: МПК В30В9/02; заявл. 05.02.2018; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 8. 6 с (запропонований спосіб очищення рицинової олії від механічних домішок і фосфатидів і математична модель процесу електрофлотації).

28. Пристрій для дослідження процесу відділення олії з насіння олійних культур методом пресування: пат. 118672 Україна: МПК В30В9/02;

заявл.27.12.2016; опубл. 28.08.17, Бюл. №16. 6 с (розроблені вимоги для конструкції шнекового преса, як складового пристрою для дослідження процесу відділення олії).

29. Пристрій для дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини: пат. 115325 Україна: МПК С11В 1/02; заявл. 07.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. №7. 5 с (конструкція зерної камери, для дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини).

30. Спосіб дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини: пат. 114607 Україна: МПК С11В1/04; заявл. 03.10.2016; опубл. 10.03.17, Бюл. № 4 с (запропонований спосіб дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини включає вивчення процесів пресування мезги і фільтрації олії).

31. Електричний фільтр і спосіб його регенерації: пат. 37109 Україна. № 2000031620; заявл. 22.03.2000; опубл. 16.04.2001, Бюл. № 3. 3 с (досліджений процес регенерації електричного фільтру).

32. Наукові основи глибокої переробки насіння рицини на олію та високобілкові корми: звіт про НДР (заключний)/ ТДАТУ; кер. В. А. Дідур. – Мелітополь, 2018. – 300 с. (розробка математичних моделей технологічних операцій волого-теплової підготовки м'ятки рицини, віджиму рицинової олії у шнековому пресі. Розробка технологічного регламенту та технологічної схеми переробки рицини на малотоннажному підприємстві)

Комп'ютерна програма для числового дослідження математичної моделі
процесу очищення віджатої рицинової олії методом електрофлотації

ПОБУДОВА ГРАФІКІВ:

```
t=0:0.01:10
y0=0.00
V0=0
nu=0.05
a1=0.00005
a2=0.0001
a3=0.0002
a4=0.0003
ro=950
rp=1
C1=19.6*a1^2*(ro-rp)/9/nu
C2=19.6*a2^2*(ro-rp)/9/nu
C3=19.6*a3^2*(ro-rp)/9/nu
C4=19.6*a4^2*(ro-rp)/9/nu
g1=-9*nu./(2*a1^2*rp)
g2=-9*nu./(2*a2^2*rp)
g3=-9*nu./(2*a3^2*rp)
g4=-9*nu./(2*a4^2*rp)
y1=((V0-C1)/g1)*exp(g1*t)+y0-(V0-C1)/g1+C1*t
y2=((V0-C2)/g2)*exp(g2*t)+y0-(V0-C2)/g2+C2*t
y3=((V0-C3)/g3)*exp(g3*t)+y0-(V0-C3)/g3+C3*t
y4=((V0-C4)/g4)*exp(g4*t)+y0-(V0-C4)/g4+C4*t
v1=(V0-C1)*exp(g1*t)+C1
v2=(V0-C2)*exp(g2*t)+C2
v3=(V0-C3)*exp(g3*t)+C3
v4=(V0-C4)*exp(g4*t)+C4
plot(t,v1,t,v2,t,v3,t,v4)
```

ПОБУДОВА ГРАФІКІВ (краплі):

```
t=0:0.01:10
y0=0.00
V0=0
nu=0.05
b1=0.00005
b2=0.0001
b3=0.0002
b4=0.0003
rv=1000
rc=960
C1=19.6*b1^2*(rv-rc)/9/nu
C2=19.6*b2^2*(rv-rc)/9/nu
C3=19.6*b3^2*(rv-rc)/9/nu
C4=19.6*b4^2*(rv-rc)/9/nu
g1=-9*nu./(2*b1^2*rv)
g2=-9*nu./(2*b2^2*rv)
g3=-9*nu./(2*b3^2*rv)
g4=-9*nu./(2*b4^2*rv)
y1=((V0-C1)/g1)*exp(g1*t)+y0-(V0-C1)/g1+C1*t
y2=((V0-C2)/g2)*exp(g2*t)+y0-(V0-C2)/g2+C2*t
y3=((V0-C3)/g3)*exp(g3*t)+y0-(V0-C3)/g3+C3*t
y4=((V0-C4)/g4)*exp(g4*t)+y0-(V0-C4)/g4+C4*t
u1=(V0-C1)*exp(g1*t)+C1
u2=(V0-C2)*exp(g2*t)+C2
u3=(V0-C3)*exp(g3*t)+C3
u4=(V0-C4)*exp(g4*t)+C4
plot(t,u1,t,u2,t,u3,t,u4)
```



Акт

про впровадження результатів НДР

м. Харків


«18» вересня 2019 р.

м. Мелітополь


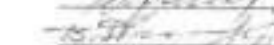

Ми, що нижче підписалися, представник ПП «Харків Агросоюз» – головний інженер Остапенко І.І. та представники Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного – докторант кафедри МЕЗ Дідур В.В., завідувач кафедри ТСС в АПК Дідур В.А., аспірант кафедри ТСС в АПК Верещага О.Л. склали цей акт про те, що в серпні 2018 року була прийнята до впровадження у виробництво технологія глибокої без екстракційної переробки насіння річчини адаптована до малотоннажного виробництва (Патент України № 115325).

Очікувана техніко-економічна ефективність від впровадження у виробництво даної технології складає 87 846, 7 тис. грн., рівень рентабельності 84, 9%, строк окупності інвестицій – 6,5 років.

Від ПП «Харків Агросоюз»
Головний інженер

 І.І. Остапенко

Від ТДАТУ
імені Дмитра Моторного

 В.В. Дідур
 В.А. Дідур
 О.Л. Верещага

ЗАТВЕРДЖУЮ:
 Генеральний директор
 ПрАТ «Уманьферммаш»



А.В. Ліпкан

ЗАТВЕРДЖУЮ:
 Ректор Таврійського державного
 агротехнологічного університету
 ім. Дмитра Моторного



член-корреспондент НАН України,
 д.т.н., проф. В.М. Кюрчев

Акт

про впровадження результатів НДР

м. Умань

«10» вересня 2018 р.

м. Мелітополь


Ми, що нижче підписалися, представник ПрАТ «Уманьферммаш» – начальник конструкторсько-технологічного відділу Черниш М.С. та представник Таврійського державного агротехнологічного університету – докторант кафедри мехатронних систем та транспортних технологій Дідур В.В. склали цей акт в тому, що ТДАТУ розробив, а ПрАТ «Уманьферммаш» прийняв для впровадження у виробництво науково-технічну продукцію – Електрофлотажна установка для очищення рослинної олії.

В основу даної розробки закладений спосіб очищення рослинної олії методом флотажі і насичення води повітрям та відділення домішок. Розрахунок електротехнічних характеристик електрофлотажної установки для очищення рослинної олії та її конструктивних показників показали його високу ефективність, зокрема, споживана повна потужність технологічного блоку складає 6,5 ВА при продуктивності 0,1 м³/год.

Від ПрАТ «Уманьферммаш»:
 нач. конструкторсько-
 технологічного відділу

 М.С. Черниш

Від ТДАТУ:
 докторант кафедри мехатронних
 систем та транспортних технологій

 В.В. Дідур

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Директор компанії
«IMARTI ORGANIC» LLC



М.В. Власова

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Ректор Таврійського державного
агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного



член-кореспондент
НААН України, Д.т.н., проф. В.М.
Кіорчев

Акт

про впровадження результатів НДР

м. Умань

«10» вересня 2018 р.

м. Мелітополь

Ми, що нижче підписалися, директор «IMARTI ORGANIC» LLC Власова М.В. та представник Таврійського державного агротехнологічного університету – докторант кафедри мехатронних систем та транспортних технологій Дідур В.В. склали цей акт в тому, що ТДАТУ розробив, а «IMARTI ORGANIC» LLC прийняв для впровадження у виробництво науково-технічну продукцію – Спосіб отримання рослинної олії високої якості: патент України № 129046: МПК C11B5/02; заявл. 13.02.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20.

Запропонований спосіб передбачає створення підприємства продуктивністю 30 т/добу по початковій сировині в рік перероблятиме 9000 т насіння ріщини і буде випускати 4624 т технічної ріщинової олії, 2626 т ріщинової кормової високо протеїнової макухи і 700 т лушпиння, яке використовуватиметься як сухе біопаливо для виробництва технологічної пари високого тиску. Чистий річний прибуток такого заводу складе близько 22,6 млн. грн.

Від «IMARTI ORGANIC» LLC:
директор



М.В. Власова

Від ТДАТУ:
докторант кафедри мехатронних
систем та транспортних
технологій

 В.В. Дідур





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **122443** (13) **C2**
 (51) МПК (2020.01)
C03B 11/00
C02F 1/465 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2018 11921**
 (22) Дата подання заявки: **03.12.2018**
 (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: **11.11.2020**
 (41) Публікація відомостей про заяву: **25.11.2019, Бюл.№ 22**
 (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: **10.11.2020, Бюл.№ 21**

(72) Винахідник(и):
Дідур Володимир Володимирович (UA),
Кюрчев Володимир Миколайович (UA),
Дідур Володимир Аксентійович (UA),
Назаренко Ігор Петрович (UA),
Діденко Олександр Володимирович (UA)

(73) Володівець (володівець):
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
 пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь,
 Запорізька обл., 72310 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
 R. Issaoui, I. Ksentini, M. Kotti, and L. Ben Mansour/Effect of Current Density and Oil Concentration on Hydrodynamic Aspects in Electroflotation Column During Oil/Water Emulsion Treatment//Journal of Water Chemistry and Technology, 2017, Vol. 39, No. 3, pp. 166–170
 N. Biswas & G. Lazarescu/Removal of oil from emulsions using Electrocoagulation//International Journal of Environmental Studies, 1991, Vol. 38, pp. 65–75
 Rupesh M. Bande, B. Prasad, I.M. Mishra, Kailas L. Wasewar/ Oil field effluent water treatment for safe disposal by electroflotation// Chemical Engineering Journal, 2008, Vol. 137, pp. 503–509
 RU 2103339 C1, 27.01.1998
 SU 1652331 A1, 30.05.1991
 RU 2090595 C1, 20.09.1997

UA 122443 C2

(54) ЕЛЕКТРОФЛОТАЦІЙНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ**(57) Реферат:**

Винахід належить до промислової технології переробки жирів або жирних масел з рослинної сировини і може бути використаний в переробних підприємствах харчової, хімічної та інших галузях. Електрофлотаційна установка для очищення рослинної олії містить ємність процесу флотації, обладнання для видалення піни з домішками, додатково зверху ємності процесу флотації встановлена ємність для змішування масла з водою за допомогою електродвигуна, обидві ємності обладнані нагрівальними елементами та датчиками температури, в ємності процесу флотації паралельно встановлено систему електродів циліндричної форми.

UA 122443 C2

Винахід належить до промислової технології переробки жирів або жирних масел з рослинної сировини і може бути використаний в переробних підприємствах харчової, хімічної та інших галузях.

5 Існує спосіб очищення рослинної олії, який включає метод флотації і насичення води повітрям та відділенням домішок. Патент на корисну модель №127279 "Спосіб очищення рослинної олії". В цьому способі у попередньо нагріту до 45 °С рослинну олію додають 2 % води і доводять до температури 100 °С, потім пропускають через систему електродів, на які подають змінну високу напругу, створюючи на поверхні електродів електричне поле напруженістю 0,5-1,0 кВ/мм.

10 Прототипом є флотаційна установка ("Інженерні методи захисту природного середовища". Учб. посібник, параграф 14.2, - С. 265. Флотаційні установки), що містить ємність процесу флотації, насоси, напірний резервуар для насичення води повітрям, флотаційну камеру та обладнання для видалення піни з домішками.

15 Недоліками прототипу є те, що в процесі очищення одержують низька якість продукту, висока собівартість процесу і неможливість використання для очищення рослинної олії.

В основу винаходу поставлена задача у електрофлотаційній установці для очищення рослинної олії шляхом введення нових конструктивних елементів, зв'язків між ними отримати безперервний процес очищення, покращити якість виробленого продукту, зменшити час та собівартість процесу очищення.

20 Поставлена задача вирішується тим, що в електрофлотаційній установці для очищення рослинної олії, що містить ємність процесу флотації, обладнання для видалення піни з домішками відповідно пропонованого винаходу, додатково зверху ємності процесу флотації встановлена ємність для змішування масла з водою за допомогою електродвигуна, обидві ємності обладнані нагрівальними елементами та датчиками температури, в ємності процесу флотації паралельно встановлено систему електродів циліндричної форми.

25 У встановленій ємності відбувається процес змішування та підігріву олії з водою до стану емульсії з температурою близько 100° С.

Система електродів в ємності процесу флотації створює в міжелектродному просторі електричне поле великої напруженості. На електродах виникають парогазові бульбашки, які разом із домішками підіймаються на поверхню рідини і видаляються.

30 Суть запропонованого винаходу пояснюється кресленням, де схематично зображена установка електрофлотаційна установка.

Електрофлотаційна установка складається з електродвигуна змішувача 1, ємності 2 для підігріву та перемішування олії, нагрівальних елементів 3, 6, ємності 4 процесу флотації, скребка 5 для збору піни, системи електродів 7, випускного крана 8, 11, датчиків температури 9, 12. Виконаний отвір 10 для виводу піни.

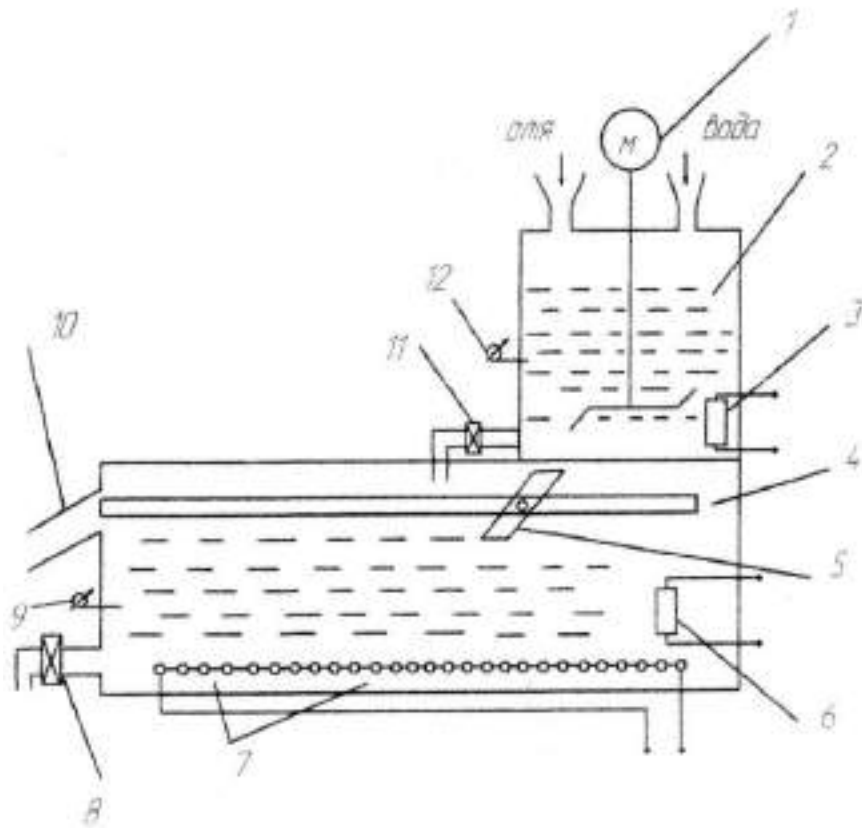
Установка працює таким чином

35 Свіжовижата неочищена ріцинова олія подається до ємності 2 для підігріву та змішування олії, куди додається 1,5...2 % води. Ця рідина ретельно переміщується змішувачем 1, та підігрівається до температури близько 100 °С за допомогою нагрівальних елементів 3. Підігріта та перемішана емульсія через випускний кран 11 надходить у флотаційну ємність 4. Для підтримки заданої температури в флотаційній ємності встановлено нагрівальний пристрій 6. Процес електрофлотації відбувається за допомогою встановленої системи електродів 4 у вигляді паралельно встановлених циліндрів. На електроди 7 подається змінна висока напруга від 5...7 КВ зі струмом – 10 мА, що створює в міжелектродному просторі електричне поле великої напруженості. При цьому на електродах виникають парогазові бульбашки, які разом із домішками підіймаються на поверхню рідини. З поверхні рідини домішки видаляються скребком 5 для збору піни через отвір 10 для виводу піни. Вихід очищеної олії здійснюється через випускний кран 8. Контроль температури в ємностях 2, 4 відбувається за допомогою встановлених датчиків температури 9 та 12.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

55 Електрофлотаційна установка для очищення рослинної олії, що містить ємність процесу флотації, обладнання для видалення піни з домішками, яка відрізняється тим, що додатково зверху ємності процесу флотації встановлена ємність для змішування масла з водою за допомогою електродвигуна, обидві ємності обладнані нагрівальними елементами та датчиками температури, в ємності процесу флотації паралельно встановлено систему електродів циліндричної форми.

UA 122443 C2



Комп'ютерна верстка О. Рябіо

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

(11) **122443**(19) **UA**(51) МПК (2020.01)
C03B 11/00
C02F 1/465 (2006.01)(21) Номер заявки: **а 2018 11921**(22) Дата подання заявки: **03.12.2018**(24) Дата, з якої є чинними
права інтелектуальної
власності: **11.11.2020**(41) Дата публікації відомостей
про заявку та номер
Бюлетеня: **25.11.2019,
Бюл.№ 22**(46) Дата публікації відомостей
про державну реєстрацію
та номер Бюлетеня: **10.11.2020,
Бюл. № 21**(72) Винахідники:
**Дідур Володимир
Володимирович, UA,
Кюрчев Володимир
Миколайович, UA,
Дідур Володимир
Аксентійович, UA,
Назаренко Ігор Петрович,
UA,
Діденко Олександр
Володимирович, UA**(73) Володілець:
**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Б. Хмельницького, 18, м.
Мелітополь, Запорізька обл.,
72310, UA**

(54) Назва винаходу:

ЕЛЕКТРОФЛОТАЦІЙНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ

(57) Формула винаходу:

Електрофлотаційна установка для очищення рослинної олії, що містить ємність процесу флотації, обладнання для видалення піни з домішками, яка відрізняється тим, що додатково зверху ємності процесу флотації встановлена ємність для змішування масла з водою за допомогою електродвигуна, обидві ємності обладнані нагрівальними елементами та датчиками температури, в ємності процесу флотації паралельно встановлено систему електродів циліндричної форми.

(11) 122443

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
Державне підприємство
«Український інститут інтелектуальної власності»
(Укрпатент)

Цей паперовий документ ідентичний за документарною інформацією та реквізитами електронному документу з електронним підписом уповноваженої особи Державного підприємства «Український інститут інтелектуальної власності».

Паперовий документ містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Для доступу до електронного примірника цього документа з ідентифікатором 3014091120 необхідно:

1. Перейти за посиланням <https://sis.ukrpatent.org>.
2. Обрати пункт меню Сервіси – Отримати оригінал документу.
3. Вказати ідентифікатор електронного примірника цього документа та натиснути «Завантажити».

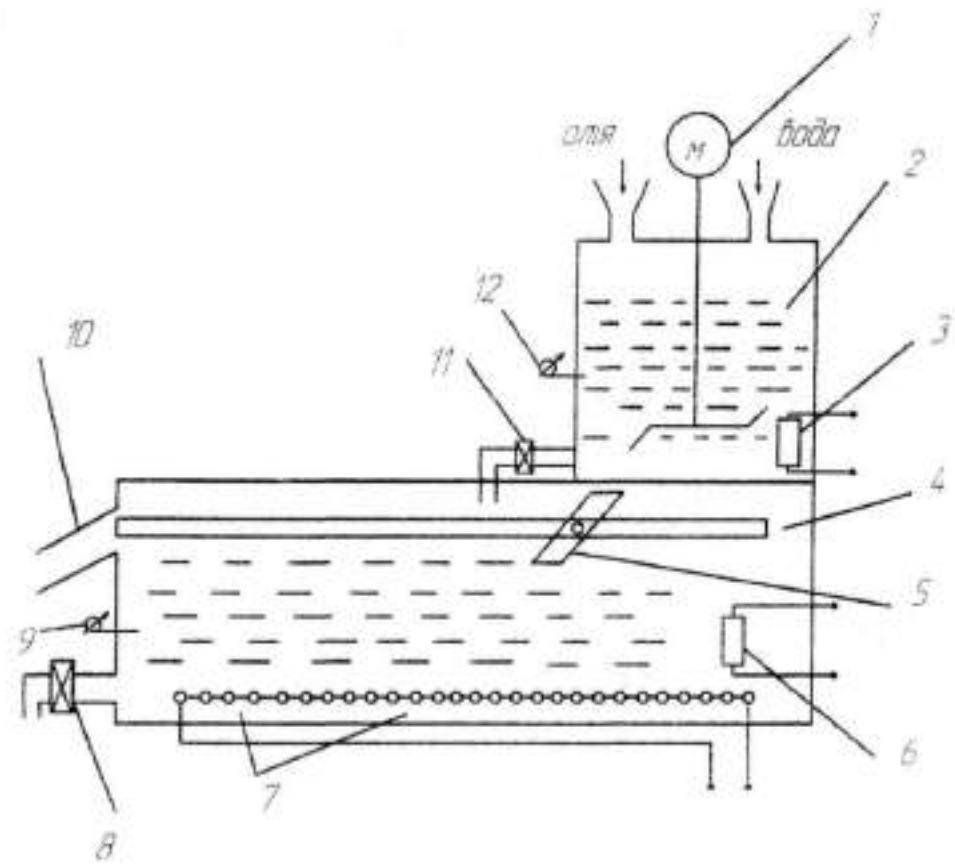
Уповноважена особа Укрпатенту

11.11.2020



І.Є. Матусевич

UA 122443 C2





(11) 114607

(19) UA

(51) МПК

C11B 1/04 (2006.01)

C11B 1/02 (2006.01)

C11B 1/06 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2016 10085

(22) Дата подання заявки: 03.10.2016

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.03.2017

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 10.03.2017, Бюл. № 5

(72) Винахідники:

Дідур Володимир
Аксентійович, UA,
Ткаченко Валентин
Олександрович, UA,
Дідур Володимир
Володимирович, UA,
Ткаченко Олександр
Валентинович, UA

(73) Власник:

ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Б. Хмельницького, 18, м.
Мелітополь, Запорізька обл.,
72310, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДДІЛЕННЯ ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини, що включає вивчення процесів пресування мезги і фільтрації олії, який відрізняється тим, що пресування і фільтрація вивчають одночасно, при цьому фільтрація олії через шар мезги й між зернистими планками здійснюють перпендикулярно напрямку стиснення мезги, зміну тиску вимірюють безупинно тензометричною системою, а частоту обертання шнекового преса моделюють часом стиснення мезги в кожному шнеку і відповідно до часу фільтрації олії на кожному щаблі шнекового вала преса.



УКРАЇНА

(19) UA (11) 114607 (13) U

(51) МПК

C11B 1/04 (2006.01)

C11B 1/02 (2006.01)

C11B 1/06 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2016 10085	(72) Винахідник(и): Дідур Володимир Ахасійович (UA), Тяченко Валентин Олександрович (UA), Дідур Володимир Володимирович (UA), Тяченко Олександр Валентинович (UA)
(22) Дата подання заявки: 03.10.2016	
(24) Дата, з якої є чинною права на корисну модель: 10.03.2017	
(48) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.03.2017, Бюл. № 5	(73) Власник(и): ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72310 (UA)

(54) СПОСІБ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДДІЛЕННЯ ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ**(57) Реферат:**

Спосіб дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини включає вивчення процесів пресування мезги і фільтрації олії. Пресування і фільтрацію вивчають одночасно. Фільтрацію олії через шар мезги й між зерними планками здійснюють перпендикулярно напрямку стиснення мезги. Зміну тиску вимірюють безупинно тензометричною системою. Частоту обертання шнекового преса моделюють часом стиснення мезги в кожному шаку і відповідно до часу фільтрації олії на кожному шаблі шнекового вала преса.

UA 114607 U

UA 114607 U

Корисна модель належить до галузі переробки сільськогосподарської продукції, а саме до переробки насіння олійних культур.

Відомий спосіб, прийнятий за прототип [Масликов В.А. Упругие свойства мезги и работа, затрачиваемая на ее скатил/Известия высших учебных заведений, пищевая технология. - № 2. - 1962 - С. 128-133], вивчає процес пресування мезги за допомогою діаграм, що дозволяє установити залежність між діючим тиском і об'ємом мезги або її щільністю. Ця залежність дає кількісну оцінку пружних або пластичних властивостей мезги.

Недоліком прототипу є те, що спосіб оцінює тільки пружні або пластичні властивості мезги й не дозволяє оцінювати процес фільтрації олії.

В основу корисної моделі поставлена задача створити такий спосіб процесу відділення олії з рослинної сировини, який забезпечує одночасне вивчення процесів пресування мезги і фільтрації олії, безупинне вимірювання зміни тиску, моделювання частоти обертання шнекового вала преса, автоматизацію зважування, оптимізацію процесу дослідження, одержання більш достовірних показників.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини, що включає вивчення процесів пресування мезги і фільтрації олії, відповідно до пропонуваної корисної моделі, пресування і фільтрацію вивчають одночасно, при цьому фільтрацію олії через шар мезги й між зерними планками здійснюють перпендикулярно напрямку стиснення мезги, зміну тиску вимірюють безупинно тензометричною системою, а частоту обертання шнекового преса моделюють часом стиснення мезги в кожному шнеку і відповідно до часу фільтрації олії на кожному щаблі шнекового вала преса.

Завалений спосіб здійснюється таким чином:

Мезгу готують по заздалегідь прийнятій технології, доводять її до певних пружних властивостей, з досліджуванним варіантом температури й вологості її пресування. Збирають пристрій, на якому проводять дослідження. Заповнюють робочу зону зерної камери мезгою. Включають випробувальний стенд.

Відбувається стиснення мезги в робочій зоні зерної камери. Під створенням тиску олія рухається в напрямку вільного простору в зазор між зерними планками. Чим більше робочий зазор між зерними планками, тим менше опір і більше фільтрується олії. Однак, при великому зазорі частина мезги проникає разом з маслом. Чим більше створений тиск у меззі, тим більше мезги проникає в зазор між зерними планками. Тому, коли моделюють процес пресування на перших етапах пресування, коли тиск ще не високий, встановлюють планки з більшим зазором, а при моделюванні процесу віджиму олії мезги на підвищеному тиску зазор між зерними планками зменшують. Процес фільтрації олії залежить від оптимальних режимів пресування й зазорів між зерними планками а також від пружності одержуваної мезги при вологотеплової обробці й вмісті лузги в м'ячі.

Для моделювання заданих ступенів стиснення в зерному циліндрі лабораторної установки необхідно опускати поршень, забезпечуючи висоту стиснутої мезги, обумовлену з умови

$$h_k = h_0 \cdot \epsilon_k,$$

де h_k - висота стиснутої мезги для обумовленого ступеня тиску;
 h_0 - висота вихідного шару мезги в зерній камері лабораторного преса;
 ϵ_k - заданий ступінь стиснення для k-го досліді або k-го витка.

Частота обертання шнекового вала преса, моделюється часом витримки поршня лабораторної установки на кожному щаблі стиснення. Для моделювання часу витримки в лабораторних дослідженнях приймали діапазон частоти обертання шнекового вала форпреса від 12 до 24 об/хв..., із кроком 3 об/хв. Час витримки при кожному щаблі стиснення визначається формулою

$$t = 60/n,$$

де n - частота обертання шнекового вала об/хв;
 t - час витримки поршня при кожному щаблі стиснення, с.

Діапазон частот обертання шнека й відповідний час витримки наведені в таблиці.

Таблиця

Частота обертання вала, об/хв.	12	15	18	21	24
Час витримки на кожному щаблі, с	5	4	3,3	2,8	2,5

UA 114607 U

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 5 Спосіб дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини, що включає вивчення процесів пресування мазги і фільтрації олії, який відрізняється тим, що пресування і фільтрацію вивчають одночасно, при цьому фільтрацію олії через шар мазги й між зернистими
- 10 плівками здійснюють перпендикулярно напрямку стиснення мазги, зміну тиску вимірюють безупинно тензометричною системою, а частоту обертання шнекового преса модують часом стиснення мазги в кожному шнеку і відповідно до часу фільтрації олії на кожному щаблі шнекового вала преса.

Комп'ютерна версія Г. Палійко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Лепківського, 45, м. Київ, МСП, 09660, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



(11) 115325

(19) UA

(51) МПК

C11B 1/02 (2006.01)

C11B 1/04 (2006.01)

C11B 1/06 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2016 11261

(22) Дата подання заявки: 07.11.2016

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.04.2017

(46) Дата публікації відомостей про видану патенту та номер бюлетеня: 10.04.2017, Бюл. № 7

(72) Винахідники:

Дідур Володимир
Аксентійович, UA,
Ткаченко Валентин
Олександрович, UA,
Дідур Володимир
Володимирович, UA,
Ткаченко Олександр
Валентинович, UA

(73) Власник:

ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОПІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Б. Хмельницького, 18, м.
Мелітополь, Запорізька обл.,
72310, UA

(54) Назва корисної моделі:

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДДІЛЕННЯ ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

(57) Формула корисної моделі:

Пристрій для дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини, що включає прийомну ємність, зесрну камеру, закріплену на нерухомій плиті, поршень, систему зливу олії, який відрізняється тим, що зесрна камера установлена в прийомній ємності та включає змінні зесрні планки з різними зазорами й тензометричну базу з датчиками, мірна ємність установлена на електронній вазі з автоматизованим процесом завакуування.



УКРАЇНА

(19) UA (11) 115325 (13) U

(51) МПК

C11B 1/02 (2006.01)

C11B 1/04 (2006.01)

C11B 1/06 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

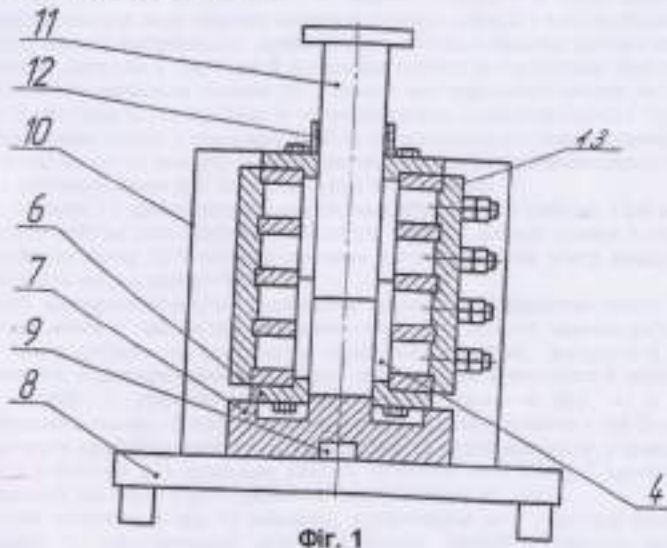
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки	u 2016 11261	(72) Винахідник(и):	Дідур Володимир Ахсентійович (UA), Ткаченко Валентин Олександрович (UA), Дідур Володимир Володимирович (UA), Ткаченко Олександр Валентинович (UA)
(22) Дата подання заявки:	07.11.2016	(73) Власник(и):	ТАВРИСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72310 (UA)
(24) Дата, з якої є чинним права на корисну модель:	10.04.2017		
(46) Публікація відомостей про видану патенту:	10.04.2017, Бюл.№ 7		

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДДІЛЕННЯ ОЛІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

(57) Реферат:

Пристрій для дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини включає прийомну ємність, зерну камеру, закріплену на нерухомій плиті, поршень, систему зливу олії. Зерна камера установлена в прийомній ємності та включає змінні зерні планки з різними зазорами й тензометричну балку з датчиками. Мірна ємність установлена на електронні ваги з автоматизованим процесом зважування.



UA 115325 U

Корисна модель належить до галузі переробки сільськогосподарської продукції, а саме для переробки насіння олійних культур.

Відомий пристрій, прийнятий за прототип, включає зерну камеру, поршень, перфороване днище (Масликов В.А. Упругие свойства мезги и работа, затрачиваемая на ее сжатие. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, №2, 1962 с. 128-133). Зерная камера виконана суцільним циліндром з нанесеними на внутрішній поверхні щілинами трикутної форми для стоку олії, а перфороване днище включає опорне кільце й плиту з отворами для стоку олії, що виділяється. Зовні зерна камера огочена водяною сорочкою, через яку циркулює гаряча вода з температурою пресування.

Недоліком пристрою-прототипу є неможливість моделювати роботу шнекового преса тому, що тиск мезги збігається з напрямком фільтрації через перфороване днище. У шнекових пресах напрямок фільтрації відбувається перпендикулярно напрямку тиску. Температура пресування не відповідає робочій температурі пресування в робочому пресі. Час пресування й швидкість переміщення пуансона не пов'язані з частотою обертання шнекового вала преса.

В основу корисної моделі поставлена задача: в пропонуваному пристрої шляхом модернізації конструктивно-технологічної схеми, основаної на новій сукупності конструктивних елементів, їх взаємному розташуванні і наявності зв'язків між ними, забезпечити одночасне вивчення процесу фільтрації олії та моделювання роботи шнекового преса.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої для дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини, що включає зерну камеру, закріплену на нерухомій плиті, поршень, систему зливу олії, відповідно до пропонуваної корисної моделі зерна камера встановлена в прийомній ємності та включає змінні зерні планки з різними зазорами й тензометричну балку з датчиками, мірна ємність встановлена на електронні ваги з автоматизованим процесом зважування.

Змінні зерні планки з різними зазорами дозволяють експериментально визначити оптимальні зазори на кожному шаблі шнекового преса в залежності від олійної культури, місця шнекового преса в технологічному процесі, технології підготовки мезги до пресування.

Установка зерної камери в прийомній ємності, з якої зливається масло в мірну ємність та автоматизоване зважування дозволяють визначити кількісно процес фільтрації олії в часі при різних режимах.

Корисна модель пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 надано загальний вид преса із зерною камерою.

Зерна камера 1 (фіг. 1) складається із двох частин, з'єднаних між собою чотирма брусками 2 і скріпленими вісьма шпильками 3. Зерна камера 1 включає зерні планки 4, які закріплені притисковими планками 5. Обидва кінці зерної камери 1 в зборі закриті фланцями 6, що виключають осьовий зсув зерних планок 4. Зерна камера 1 в зборі встановлюється на плиту 7, центруючись по внутрішньому діаметру фланця й відповідному виступу плити 7.

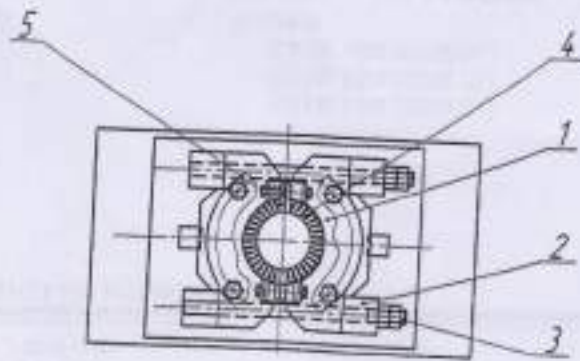
Базовою деталлю є підстава 8 з прилаштованим виступаючим центром 9. На підставі 8 встановлюється прийомна ємність 10, у днище якої видалений виступ по профілю відповідний виступу 9 підстави 8. На підставі 8 встановлюється прийомна ємність 10, що центрується по виступу у своєму днищі. У прийомну ємність 10 встановлюють зерну камеру 1 в зборі із плитою 7, що центрується по виступу 9. На верхньому фланці 6 встановлюється ущільнювач 12, що втримує витікання мезги при установці й русі вниз поршня 11.

Рух поршня 11 здійснюється штоком випробувального стенда. При вимірі тиску плита 7 замінюється плитою для виміру внутрішнього тиску в зерній камері 1, на яку встановлюють тензометричну балку 13 з тензометричними датчиками. А на плиту виміру внутрішнього тиску встановлюють зерну камеру 1 (фіг. 1).

Спосіб експериментальних досліджень пружних властивостей мезги й фільтрації масла через шар мезги й зазори між зерними планками зерної камери забезпечується в такий спосіб. Мезгу готують по заздалегідь прийнятій технології, доводячи її до певних пружних властивостей, з досліджуванним варіантом температури й вологості її пресування. Розбирають зерну камеру 1, встановлюють змінні зерні планки 4 (фіг. 1) з одним з варіантів досліджуваного зазору. Збирають зерну камеру 1, встановлюють у ній фланці 6. На підставі 8 встановлюють прийомну ємність 10, центруючи її своїм виступом у днище по центральному виступу 9 у підставі 8. У прийомну ємність 10 вставляють плиту 7, центруючи її по виступу в днищі ємності. На плиту 7 встановлюють зерну камеру 1.

Верхній фланець 6 (фіг. 1) знімають, відкриваючи вхід у робочу зону зерної камери 1, заповнюють її, підготовленою для пресування, мезгою. Ставлять верхній фланець 6 і ущільнювач 12, вставляють поршень 11. Включають випробувальний стенд, підводять шток випробувального стенда до поршня 11, включають робочий хід штока випробувального стенда.

UA 115325 U



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка В. Мацило

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



(11) 118672

(19) UA

(51) МПК
B30B 9/02 (2006.01)
C11B 1/04 (2006.01)

(21) Номер заявки: **u 2016 13437**
 (22) Дата подання заявки: **27.12.2016**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **28.08.2017**
 (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **28.08.2017, Бюл. № 16**

(72) Винахідники:
Дідур Володимир Аксентійович, UA,
Ткаченко Валентин Олександрович, UA,
Дідур Володимир Володимирович, UA,
Ткаченко Олександр Валентинович, UA,
Ассєв Анатолій Анатолійович, UA,
Шарій Артем Віталійович, UA,
Алмакаєв Олександр Васильович, UA

(73) Власник:
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
 пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72310, UA

(54) Назва корисної моделі:

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДДІЛЕННЯ ОЛІЇ З НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР МЕТОДОМ ПРЕСУВАННЯ

(57) Формула корисної моделі:

Пристрій для дослідження процесів відділення олії з насіння олійних культур шляхом пресування, що включає зсєрну камеру, закріплену на нерухомій плиті, шнековий прес, систему зливу олії, який відрізняється тим, що зсєрна камера виконана у формі розгорнутого каналу одного шнека шнекового преса, причому висота каналу регулюється за рахунок переміщення дазу каналу і має зменні по висоті поршні, що приводяться до руху гнєтвим механізмом, який містить вал з трапецеїдальною різьбою та гайку, на яку кріпиться, вибраний в залежності від висоти каналу, поршень, а подача мєзги в розгорнутий канал здійснюється ексцентриковим бітером зі своїм робочим каналом.



УКРАЇНА

(19) UA (11) 118672 (13) U

(51) МПК

B30B 9/02 (2006.01)

C11B 1/04 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2016 13437	(72) Винахідник(и):	Дідур Володимир Ахсентійович (UA), Ткаченко Валентин Олександрович (UA), Дідур Володимир Володимирович (UA), Ткаченко Олександр Валентинович (UA), Ассєв Анатолій Анатолійович (UA), Шарія Артем Віталійович (UA), Алмакаєв Олександр Васильович (UA)
(22) Дата подання заявки:	27.12.2016	(73) Власник(и):	ТАВРИЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Закарпатська обл., 72310 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	28.08.2017		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	28.08.2017, Бюл. № 16		

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДДІЛЕННЯ ОЛІЇ З НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР МЕТОДОМ ПРЕСУВАННЯ

(57) Реферат:

Пристрій для дослідження процесів відділення олії з насіння олійних культур шляхом пресування включає зерну камеру, закріплену на нерухомій плиті, шнековий прес, систему зливу олії. Зерну камера виконана у формі розгорнутого каналу одного шнека шнекового преса. Висота каналу регулюється за рахунок переміщення даху каналу і має змінні по висоті поршні, що приводяться до руху гвинтовим механізмом, який містить вал з трапецеїдальною різьбою та гайку. На гайку кріпиться, вибраний в залежності від висоти каналу, поршень. Подана мезга в розгорнутий канал здійснюється ексцентриковим бітером зі своїм робочим каналом.

UA 118672 U

UA 118672 U

Устройство для обработки
металлов

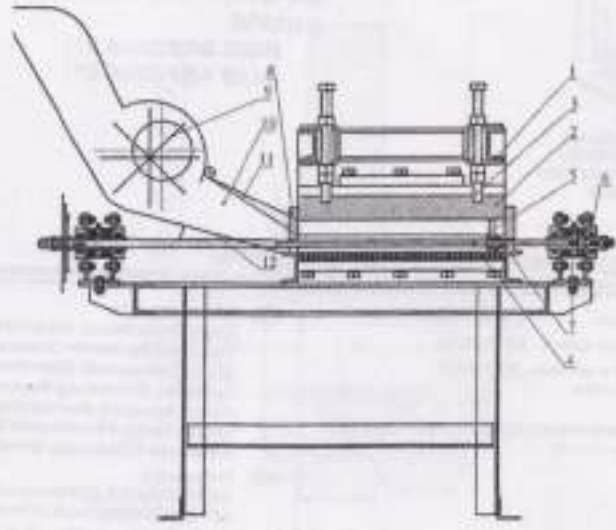


Fig. 1

УДК 621.782.001.001.001

Владельцем изобретения является автор, который просит выдать патент на изобретение. Автор гарантирует, что изобретение является новым и оригинальным, и не нарушает прав третьих лиц. Автор просит выдать патент на изобретение в том объеме, который определен в формуле изобретения.

UA 118672 U

Корисна модель належить до галузі переробки сільськогосподарської продукції, а саме переробки насіння олійних культур на рослинну олію і макуху.

Найближчим аналогом є пристрій для вивчення процесу пресування мезги / Масликов В.А. Упругие свойства мезги и работа, затрачиваемая на ее сжатие / Известия высших учебных заведений. Пищевая технология № 2, 1962 с. 128-133/ включає зерну камеру, поршень, перфороване днище. Зерну камера виконана суцільним циліндром, з нанесеними на внутрішній поверхні шлінами трикутної форми для стоку олії, а перфороване днище включає опорне кільце й плиту з отворами для стоку олії, що відділяється. Зерні зерну камера оточена водяною сорочкою, через яку циркулює гаряча вода з температурою пресування. Пристрій працює таким чином: у зерну вставляють кільце, потім - днище з отворами й заправляють мезгою до верхнього рівня зерна. Після заправки мезгу накривають рухомою кришкою, що виконує роль поршня, на яку ставлять пуансон і всю систему поміщають в лабораторний прес. У циліндр преса подають напірну рідину, в результаті чого мезга в зерні стискується. Величину тиску в циліндрі преса вимірюють манометром, а величину усадки мезги в зерні - індикатором.

Недоліками найближчого аналога є те, що пристрій оцінює тільки пружні або пластичні властивості мезги й не дозволяє оцінювати процес фільтрації олії через шар мезги й зерні планки в реальних процесах; пристрій не дозволяє моделювати роботу шнекового преса. Тиск мезги збігається з напрямком фільтрації через перфороване днище, що ніяк не моделює процес у шнекових пресах, де напрямок фільтрації перпендикулярно напрямку тиску; температура пресування, створена гарячою водою у водній сорочці, не може відповідати робочій температурі пресування в робочому пресі; час пресування й швидкість переміщення пуансона не пов'язані із частотою обертання шнекового вала преса.

В основу корисної моделі поставлена задача створення пристрою для дослідження процесу відділення олії із насіння олійних культур в шнекових пресах, де процес моделюється в кожному шнечку шнекового преса з урахуванням товщини мезги в шнековому валу, розгорнутої довжини його каналу і частоти обертання, що забезпечує стабільну роботу пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої для дослідження процесу відділення олії з рослинної сировини шляхом пресування містить зерну камеру, закріплену на нерухомій плиті, систему зливу олії, згідно з корисною моделлю, зерну камеру виконана у формі розгорнутого каналу одного шнечка 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 з трапецеїдальною різьбою та гайку, на якій кріпиться, вибраний в залежності від висоти каналу, змінний поршень, а подача мезги в розгорнутий канал здійснюється ексцентриковим бітером зі своїм робочим каналом.

Виконання зерної камери у формі розгорнутого каналу дозволяє досліджувати динаміку процесу фільтрації олії через шар мезги в кожному шнечку по довжині каналу залежно від частоти обертання шнекового вала, зазорів між зерними планками, режимів волого-теплогової обробки мезги, виду сировини, що переробляється, та місця шнекового преса в технологічному процесі.

Корисна модель пояснюється кресленням, де на фіг. 1 зображено загальний вигляд розгорнутого каналу; на фіг. 2 наведено переріз розгорнутого каналу; на фіг. 3 - загальний вигляд трапецеїдальної гайки в зборі зі змінним поршнем. Розгорнутий канал (фіг. 1, 2) складається зі станини 1, кришки каналу 2, болтів регулювальних 3, камери з набором змінних зерних планок 4 (фіг. 1, 2), вала гвинтового механізму 5, опор валу 6, змінної вставки каналу 6 (фіг. 1), ексцентрикового бітера 9 (фіг. 1), каналу 10 для подачі м'ятки, рухливої кришки каналу 11, змінної вставки каналу 12.

Перетин (фіг. 2) розгорнутого каналу складається зі станини 1, направляючих каналу 13 (фіг. 2), кришки каналу 2, болтів регулювальних 3, зерних планок 4, розірних планок 18, притисків 17. Трапецеїдальна гайка в зборі (фіг. 3) включає саме трапецеїдальну гайку 7, змінний поршень 15 і затисну гайку 16.

Розгорнутий канал утворений двома направляючими 13 (фіг. 2) і кришкою каналу 2 (фіг. 1, 2).

Направляючі 13 жорстко кріпляться до станини 1. Дно розгорнутого каналу викладене змінними зерними планками 4, які від білого зсуву утримуються розірними планками 18 і кріпляться притисками 17 до направляючих 13.

Набір зерних планок 4 (фіг. 2) від осевого зсуву утримуються швеллерами станини 1. Через розгорнутий канал наскрізь проходить вал гвинтового механізму 5, що встановлений на опорах 6. На валу 5 встановлена трапецеїдальна гайка 7 (фіг. 1, 3). Трапецеїдальна гайка 7 включає натягнутий на неї змінний поршень 15 (фіг. 3), затиснутий гайкою 16, розгорнутий канал із двох

UA 118672 U

сторін закривається змінною вставкою 8 (фіг. 1). Подана мезга в розгорнутий канал здійснюється ексцентриковим бітером 9 по робочому каналу 10 ексцентрикового бітера 9. Зверху робочий канал 10 закритий пересуваючою кришкою 11, а знизу - змінною вставкою 12 робочого каналу 10.

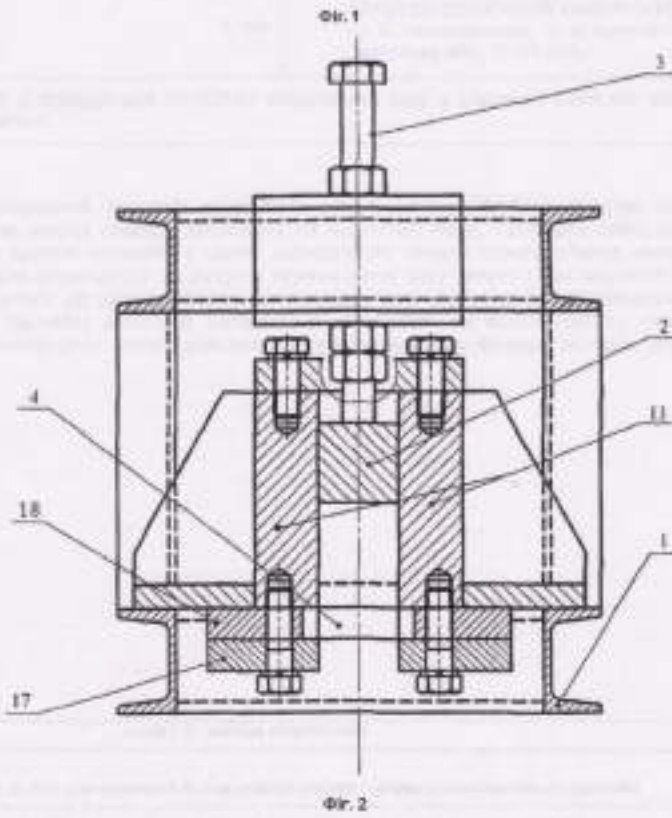
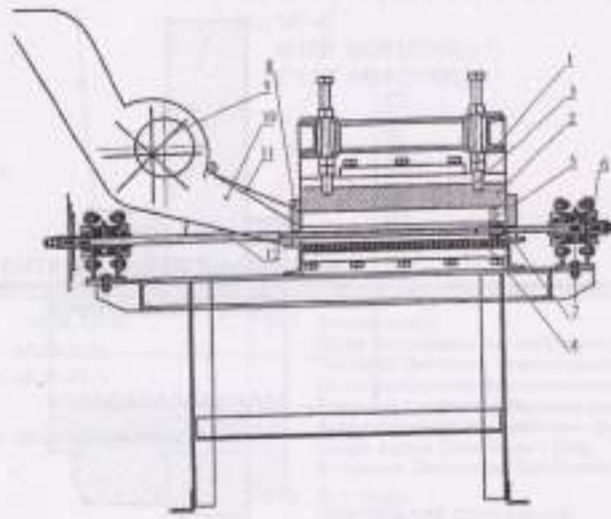
- 5 Дослідження процесів у шнековому пресі здійснюється таким чином. У лабораторній жаровні готують мезгу для пресування в розгорнутому каналі. Знімають вставку 8 (фіг. 1) на вході у розгорнутий канал. За допомогою регулювальних болтів 3 установлюють робочу висоту каналу, рівну досліджуваному зазору у шнечку шнекового преса. Відповідно до цієї висоти встановлюють положення рухливої кришки 11 каналу 10 бітера 9. Попередньо до цього встановили змінний поршень 15 (фіг. 3) на трапецеїдальній гайці 7 по робочій висоті розгорнутого каналу й затисли його гайкою. Включають привод вала 5 гвинтового механізму. Установлений поршень 15 разом з трапецеїдальною гайкою 7 відводять у крайнє праве
- 10 положення. Включають систему бітера 9 (фіг. 1). Відкривають у лабораторній жаровні заслінку. Бітер набиває в розгорнутий канал мезгу. Включають ексцентриковий бітер 9. Установлюють вставку 8 розгорнутого каналу на вході. Включають гвинтовий механізм із заздалегідь розрахованою швидкістю переміщення трапецеїдальної гайки 7 з поршнем 15 (фіг. 3) і задають ступінь стиснення через дошки переміщення, контрольовану установкою кінцевого вимикача. Відбувається стиск мезги на заданий ступінь. Олія через шар мезги й зазори змінних зерних
- 15 планок стікає у напрямку перпендикулярному стику мезги. Під розгорнутим каналом встановлюють секційну ємність на електронних вагах з автоматизованим процесом зважування.

- 20 Далі треба видалити з розгорнутого каналу віджаті мезгу. Знімають вставку 12 каналу бітера 9, ліву вставку 8 розгорнутого каналу, включають гвинтовий механізм для переміщення трапецеїдальної гайки з поршнем. Відпрацьована мезга поршнем витискається в проріз змінної вставки 12 каналу 10 бітера 9 (фіг. 1) під прорізом установлюють ємність для відбору відпрацьованої мезги. Мезгу зважують. Мезга йде на подальшу переробку при моделюванні наступного шнечка, при необхідності проходячи додатково волого-теплову обробку в лабораторній жаровні. З кожного досвіду беруть пробу для хімічного аналізу. Роблять фактичний балансний розрахунок.

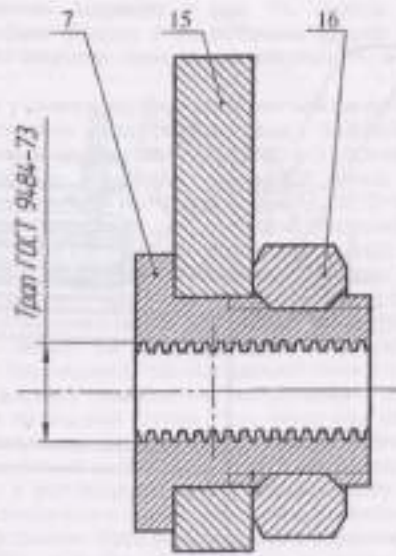
30 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- Пристрій для дослідження процесів відділення олії з насіння олійних культур шляхом пресування, що включає зерну камеру, закріплену на нерухомій плиті, шнековий прес, систему
- 35 зливу олії, який відрізняється тим, що зерна камера виконана у формі розгорнутого каналу одного шнечка шнекового преса, причому висота каналу регулюється за рахунок переміщення даху каналу і має змінні по висоті поршні, що приводяться до руху гвинтовим механізмом, який містить вал з трапецеїдальною різьбою та гайку, на яку кріпиться, вибраний в залежності від висоти каналу, поршень, а подача мезги в розгорнутий канал здійснюється ексцентриковим бітером зі своїм робочим каналом.

UA 118672 U



UA 118672 U



Фиг. 3

Комп'ютерна версія О. Герція

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601



(11) 127279

(19) UA

(51) МПК (2018.01)
C11B 3/00
B03D 1/008 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2018 01594
 (22) Дата подання заявки: 19.02.2018
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.07.2018
 (46) Дата публікації відомостей про видану патенту та номер бюлетеня: 25.07.2018, Бюл. № 14

(72) Винахідники:
 Дідур Володимир
 Володимирович, UA,
 Діденко Олександр
 Володимирович, UA,
 Дідур Володимир
 Аксентійович, UA,
 Левченко Дмитро
 Вікторович, UA

(73) Власник:
 ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
 АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
 УНІВЕРСИТЕТ,
 пр. Б. Хмельницького, 18, м.
 Мелітополь, Запорізька обл.,
 72312, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ОЧИЩЕННЯ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб очищення рослинної олії, що включає метод флотації і насичення води повітрям та відділення домішок, який відрізняється тим, що в попередньо нагріту до 45 °С рослинну олію додають 2 % води, доводять до температури 100 °С, потім пропускають через систему електродів, на які подать змінну високу напругу, створюють на поверхні електродів електричне поле напруженістю 0,5-1,0 кВ/мм.

(11) 127279

Державне підприємство
«Український інститут інтелектуальної власності»
(Укрпатент)

Оригіналом цього документа є електронний документ з відповідними реквізитами, у тому числі з накладеним електронним цифровим підписом уповноваженої особи Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та сформованою позначкою часу.

Ідентифікатор електронного документа 2635230718.

Для отримання оригіналу документа необхідно:

1. Зайти до ЦС «Стан діловодства за заявками на винаходи та корисні моделі», яка розташована на сторінці <http://base.uipv.org/searchInvStat/>.
2. Виконати пошук за номером заявки.
3. У розділі «Документи Укрпатенту» поруч з реєстраційним номером документа натиснути кнопку «Завантажити оригінал» та ввести ідентифікатор електронного документа.

Ідентичний за документарною інформацією та реквізитами паперовий примірник цього документа містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими локерами.

Уповноважена особа Укрпатенту



І.Є. Матусевич

25.07.2018



УКРАЇНА

(19) UA (11) 127279 (13) U

(51) МПК (2018.01)

С11В 3/00

В03D 1/008 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2018 01584	(72) Винахідник(и):	Дідур Володимир Володимирович (UA), Діденко Олександр Володимирович (UA), Дідур Володимир Асентійович (UA), Лавченко Дмитро Вікторович (UA)
(22) Дата подання заявки:	19.02.2018	(73) Власник(и):	ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.07.2018		
(46) Публікація відомостей про видану патенту:	25.07.2018, Бюл.№ 14		

(54) СПОСІБ ОЧИЩЕННЯ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ**(57) Реферат:**

Спосіб очищення рослинної олії включає метод флотації і насичення води повітрям та відділення домішок. У попередню нагрту до 45 °С рослинну олію додають 2 % води, доводять до температури 100 °С, потім пропускають через систему електродів, на які подають змінну високую напругу, створюють на поверхні електродів електричне поле напруженістю 0,5-1,0 кВ/мм.

UA 127279 U

UA 127279 U

Корисна модель належить до технології виробництва жирів або жирних масел з рослинної сировини і може бути використана в переробних підприємствах харчової, хімічної промисловості та інших галузях.

Відомий спосіб, вибраний як прототип [Проскураков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. - Л.: Химия, 1977.] оснований на напірній флотації, яка застосовується для очищення стічних вод нафтопереробних, паперових та інших переробних підприємств. Цей процес очищення відбувається в два етапи: насичення води повітрям під підвищеним тиском та відділення розчиненого газу під атмосферним тиском. Очищення води від грубо- та дрібнодисперсних частинок, який пролягає в появі комплексів частинок-бульбашок, спливанні цих комплексів та відділенні утвореного піноного шару з поверхні води.

Недоліком способу-прототипу є те, що його не може бути застосовано при очищенні рослинної олії з причин свого хімічного складу та підвищеної в'язкості.

В основу корисної моделі поставлена задача: у способі очищення рослинної олії шляхом приготування емульсії з олії, яку пропускають через систему електродів, посилити та прискорити процес флотації, покращити якість продукту та зменшити собівартість процесу очищення.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі очищення рослинної олії, що відбувається методом флотації, який включає насичення води повітрям та відділення домішок, відповідно до пропонуваної корисної моделі, в попередньо нагріту рослинну олію до 45 °С додають 2 % води доводять до температури 100 °С, потім пропускають через систему електродів, на які подається змінна висока напруга, створюється на поверхні електродів електричне поле напруженістю 0,5-1,0 кВ/мм.

Очищення рослинної олії відбувається таким чином:

Приготовлену для очищення рослинну олію підігрівають до температури 45 °С, після чого додають до її складу 2 % води для покращення процесу флотації і доводять до температури 100 °С. Приготовлену таким чином емульсію пропускають через систему електродів, на які подається змінна висока напруга для створення електричного поля напруженістю 0,5-1 кВ/мм. При появі електричного поля на електродах, вадомж усієї поверхні, утворюються паровозові бульбашки, які підіймаються в рідині, зіштовхуються із завислими частинами, прилипають до них і флотують їх на поверхню, тим самим проводячи процес очищення. Усі домішки залишаються разом із піною на поверхні олії і послідовно видаляються.

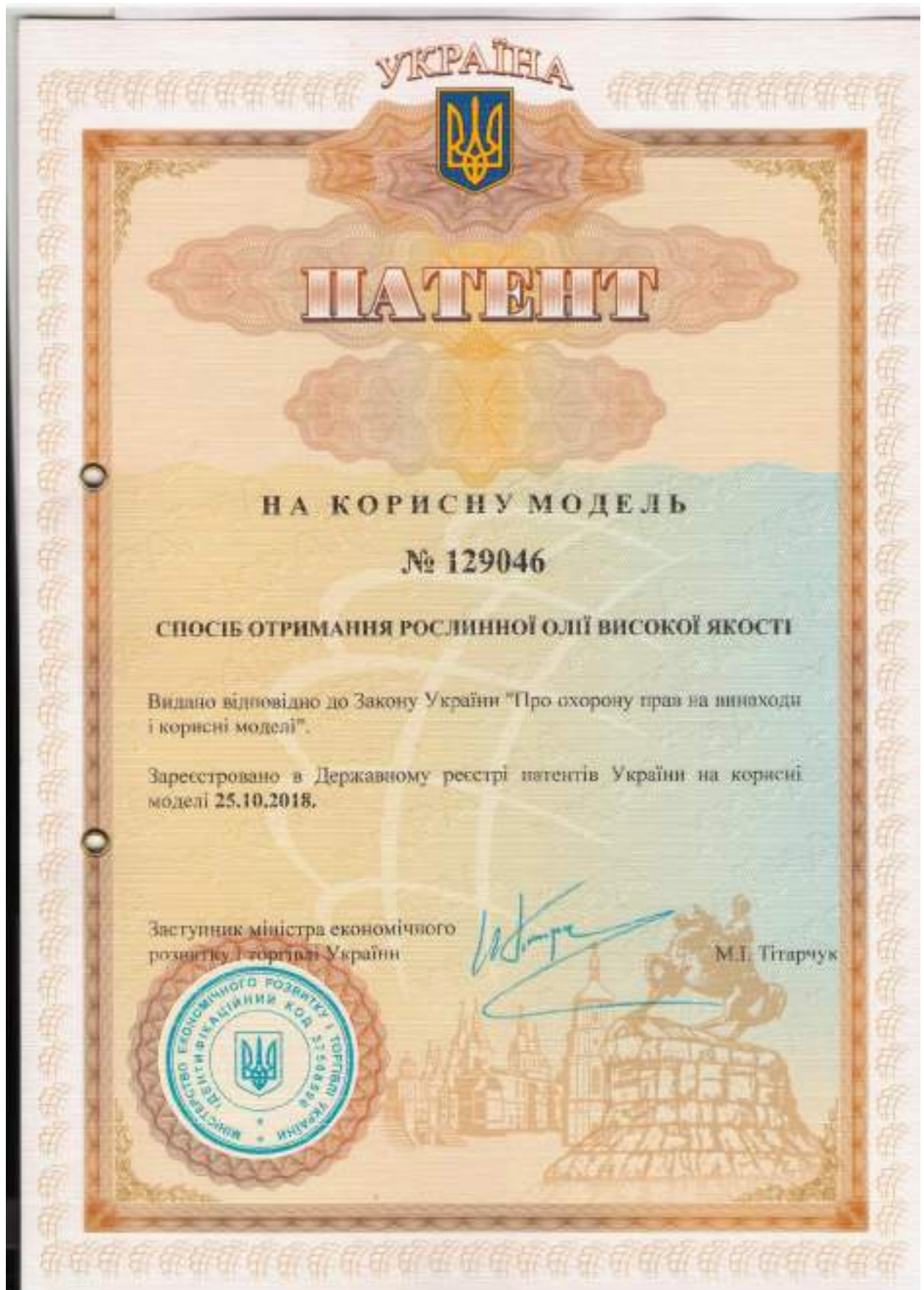
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб очищення рослинної олії, що включає метод флотації і насичення води повітрям та відділення домішок, який відрізняється тим, що в попередньо нагріту до 45 °С рослинну олію додають 2 % води, доводять до температури 100 °С, потім пропускають через систему електродів, на які подають змінну високу напругу, створюють на поверхні електродів електричне поле напруженістю 0,5-1,0 кВ/мм.

Комп'ютерна версія А. Крижанівський

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 122, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601



(11) 129046

Державне підприємство
«Український інститут інтелектуальної власності»
(Укрпатент)

Оригіналом цього документа є електронний документ з відповідними реквізитами, у тому числі з накладеним електронним цифровим підписом уповноваженої особи Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та сформованою позначкою часу.

Ідентифікатор електронного документа 2090231018.

Для отримання оригіналу документа необхідно:

1. Зайти до ІДС «Стан діловодства за заявками на винаходи та корисні моделі», яка розташована на сторінці <http://base.uipv.org/searchInvStat/>.
2. Виконати пошук за номером заявки.
3. У розділі «Документи Укрпатенту» поруч з реєстраційним номером документа натиснути кнопку «Завантажити оригінал» та ввести ідентифікатор електронного документа.

Ідентичний за документарною інформацією та реквізитами паперовий примірник цього документа містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Уповноважена особа Укрпатенту



І.Є. Матусевич

25.10.2018

(11) 129046

(19) UA

(51) МПК

C11B 1/02 (2006.01)

C11B 1/04 (2006.01)

C11B 1/06 (2006.01)

C11B 1/08 (2006.01)

C11B 1/16 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2018 01405

(22) Дата подання заявки: 13.02.2018

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.10.2018

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 25.10.2018, Бюл. № 20

(72) Винахідники:

Дідур Володимир

Володимирович, UA,

Дідур Володимир

Аксентійович, UA

(73) Власник:

ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ

АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ

УНІВЕРСИТЕТ,

пр. Б. Хмельницького, 18, м.

Мелітополь, Запорізька обл.,

72310, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ОТРИМАННЯ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ ВИСОКОЇ ЯКОСТІ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб отримання рослинної олії високої якості, який полягає в сепарації і кондиціонуванні насіння, його обрушенні і активації в шнеку-настмваторі, вогнетеплової обробці перед форпресуванням і екстелерним просуванням, який відрізняється тим, що додатково очищують від механічних домішок і калібрують насіння за розмірами перед обрушенням у триситовому сепараторі, потім аеросепарують рушнями, освітлюють і фільтрують олію у електрофлотаторі.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **129046** (13) **U**
(51) МПК*C11B 1/02* (2006.01)*C11B 1/04* (2006.01)*C11B 1/06* (2006.01)*C11B 1/08* (2006.01)*C11B 1/16* (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ(21) Номер заявки: **u 2018 01406**(22) Дата подання заявки: **13.02.2018**(24) Дата, з якою є чинними
права на корисну
модель: **25.10.2018**(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **25.10.2018, Бюл.№ 20**

(72) Винахідник(и):

**Дідур Володимир Володимирович (UA),
Дідур Володимир Ахентійович (UA)**

(73) Власник(и):

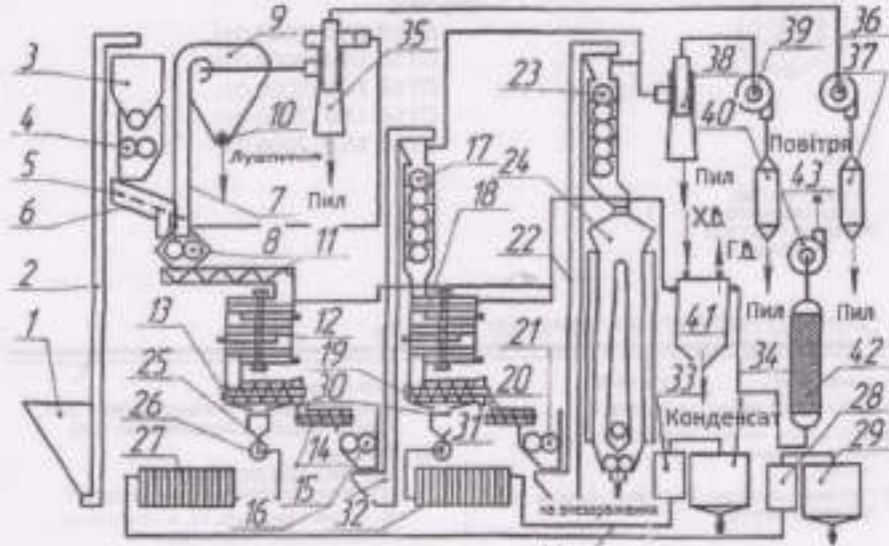
**ТАВРИСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
ср. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь,
Запорізька обл., 72310 (UA)****(54) СПОСІБ ОТРИМАННЯ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ ВИСОКОЇ ЯКОСТІ**

(57) Реферат:

Спосіб отримання рослинної олії високої якості полягає в сепарації і кондиціонуванні насіння, його обрушенні і інактивації в шнеку-інактиваторі, вологотепловій обробці перед форпресуванням і експлерним пресуванням. Додатково очищують від механічних домішок і калібрують насіння за розмірами перед обрушенням у триситовому сепараторі, потім аероселарують рушанки, освітлюють і фільтрують олію у електрофлотаторі.

UA 129046 U

UA 129046 U



ор. 1

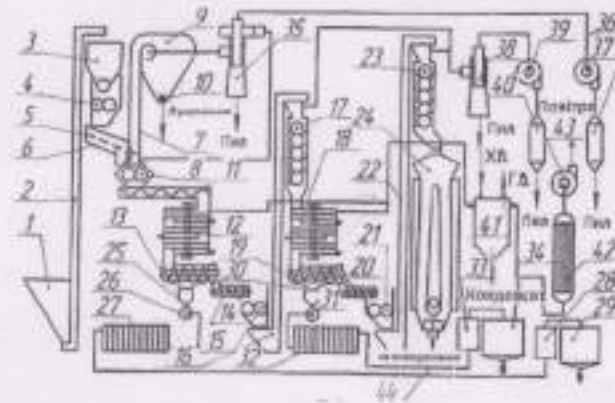
U 129046 U

UA 129046 U

- Для уловлення пилу насіння ріпичи передбачена напівазамкнута система очищення повітря в шельмашині 4-10. Для розподілу потоку застосовується регульований циклонний апарат (РЦР) 35 з додатково встановленим рівнизовим розподільником потоку. Запилене повітря аспірується з відцентрової осадкової камери шельмашини і зони обивання і 5 направляється в регульований циклонний апарат. Тут відділяється понад 90% пилу і відбувається розподіл потоку на дві частини. Один потік повертається в пневмосепаруючий канал шельмашини, а інший потік подається відцентровим вентилятором 36 на другу сходинку очищення - рукавний фільтр 37.
- Відсмоктування повітря від решти устаткування, що виконує механічні процеси переробки насіння ріпичи, відбувається вентилятором 39 з двоступеневою системою очищення повітря в циклонному апараті 38 і рукавному фільтрі 37.
- Відсмоктування пароповітряної суміші з жаровень 12 і 16 здійснюється вентилятором 43 і проходить двоступеневу очистку конденсацією парів в трубчатому теплообміннику 41 і в адсорбери 42 з активованим вугіллям.
- 15 Позитивний ефект запропонованого способу полягає в підвищенні відсотка виходу олії внаслідок застосування технології калібрування насіння ріпичи, що обумовлено великою розбіжністю його геометричних розмірів. Це дозволяє під кожну, отриману після калібрування, розмірну групу насіння налаштувати оптимальний зазор одноярних вальців шельмашини для його ефективного обрушення без додаткових пошкоджень ядра, що суттєво запобігає 20 втратам олії в рушанці. Також запропонований спосіб дозволяє збільшити продуктивність технологічної лінії глибокої переробки рослинної сировини ріпичи в умовах малотоннажного виробництва шляхом застосування в технологічному процесі аеросепарації рушанки і фільтрації олії електрофлотаторами.
- Крім цього, значно підвищується ресурс робочих органів шнекових пресів за рахунок якості 25 очищення насіння і рушанки від механічних домішок.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 30 Спосіб отримання рослинної олії високої якості, який полягає в сепарації і кондиціонуванні насіння, його обрушенні і інактивації в шнеку-інактиваторі, вологотеплової обробці перед форпресуванням і експлерним пресуванням, який відрізняється тим, що додатково очищують від механічних домішок і калібрують насіння за розмірами перед обрушенням у триситовому сепараторі, потім аеросепарують рушанки, освітлюють і фільтрують олію у електрофлотаторі.



Комп'ютерна версія П. Булик

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДЛ "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01001

Корисна модель належить до галузі переробки сільськогосподарської продукції, а саме до виробництва рослинної олії.

Відомий спосіб отримання рослинних масел (Патент №101152 UA, опубл. 2015р.) полягає у виділенні олії за технологією першого холодного пресування за допомогою шнекового механізму, її обробки та фільтрації в бельтинговому фільтрпресі.

Застосування цього способу при виробництві касторової олії має чимало недоліків, оскільки насіння ріцини потребує попереднього обрушення, подрібнення, інактивації ферментної частини та вологотеплової обробки. Стосовно фільтрації отриманої олії в бельтинговому фільтрпресі слід зазначити, що цей спосіб є низькопродуктивним, складним з точки зору технологічної пристосованості та не відповідає сучасним вимогам щодо ступеня очистки рідин.

Відомий спосіб підготовки насіння сої до вилучення олії (Патент №88259 UA, опубл. 2004р.) в основі якого покладено заміну традиційної вологотеплової обробки м'ятки її нагріванням у електромагнітному полі надвисокої частоти з метою збільшення кількісного виходу олії.

Цей спосіб має ряд недоліків, наприклад, таких, як висока вартість НВЧ-генератора і збільшення кислотного числа олії внаслідок підвищення активності гідролітичних ферментів.

Відомий також найближчий аналог способу переробки насіння ріцини на малотоннажних підприємствах, який полягає у двократному пресуванні без екстракції і знешкодження токсичних речовин ріцинової макухи (УДК 633.854 Технологія переробки насіння ріцини на малотоннажних підприємствах. Автори: Дидур В.А., акад., МААО, д.т.н., проф., Ткаченко В.А., к.т.н., доц. ТГАУ, г.Мелітополь, ТГАУ, Україна, Дидур В.В., к.т.н., доц. Уманський національний університет садівництва).

Недоліками технології-найближчого аналога є неможливість очищувати насіння ріцини від механічних домішок та калібрувати його за відсутності обладнання для цього в технологічному процесі, що не дозволяє проводити глибоку переробку рослинної речовини і одержувати олію високої якості. Недоліками, також, є низька продуктивність, якість сепарації рушанки та пропускна здатність рамкового фільтрпреса.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу отримання рослинної олії високої якості, в якому шляхом введення у технологічний процес додаткових операцій на додатковому обладнанні оптимізувати процес глибокої переробки рослинної речовини, підвищити якість очищення та забезпечити можливість отримувати олію високої якості.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі отримання рослинної олії високої якості, який полягає в сепарації і кондиціонуванні насіння, його обрушенні і інактивації в шнеку-інактиваторі, вологотеплової обробці перед форпресуванням і експлерним пресуванням, згідно з корисною моделлю, додатково очищують від механічних домішок і калібрують насіння за розмірами перед обрушенням у триситовому сепараторі, потім аеросепарують рушанки, осадлюють і фільтрують олію у електрофлотаторі.

Введення у технологічний процес додаткових операцій оптимізує сам процес глибокої переробки рослинної сировини, знижує втрати олії і дозволяє одержувати олію високої якості.

Корисна модель пояснюється кресленням, де зображена технологічна лінія, на якій відбувається реалізація способу.

Реалізація пропонуваного способу відбувається на технологічній лінії, яка містить: приймальний бункер 1, елеватор 2, бункер шельмашини 3, однопарні вальці 4,8,15,21, повітряний сепаратор 5, коливальне днище 6, пневмосепаруючий канал 7, осадову камеру 9, вакуумний затвор 10, шнек-інактиватор 11, багаточанну жаровню 12, форпрес 13, ломальний шнек 14,20, норію 16,22, п'ятивалковий станок 17,23, експлерний прес 19, охолоджувальну колонку 24, здавну гущеголовку 25,30, насос 26,31, електрофлотатор 27,32, трубчатий теплообмінник 28,33, бак 29,34, регульований циклон 35,40, відцентровий вентилятор 36,38,43, рукавний фільтр повітря 37, циклон 38, теплообмінник 41, адсорбер 42, завантажувальний бункер 44.

Відкаліброване та очищене від механічних домішок на триситовому сепараторі насіння, наприклад ріцини з приймального бункера 1, елеватором 2 із спеціальними ковшами подається в бункер шельмашини 3. Насіння з бункера через живильний валик надходить в однопарні вальці 4, де здійснюється його обрушення. Щоб зберегти цілісність ядра насіння, проміжок між валками встановлюється на 0,5-1,0 мм менше середньої товщини насіння ріцини. Отримана рушанка надходить в повітряний сепаратор 5. Ядро і велика оболонка рухається сходом з сепаратора і потрапляє в пневмосепаруючий канал 7. Ядро, як більш важка фракція, падає вниз на однопарні плющильні вальці 8. Ядро насіння ріцини внаслідок його високої олійності при ретельному подрібненні перетворюється в мазеподібну речовину, майже нетранспортабельний продукт, в якому рівномірний розподіл вологи на наступній операції (вологотеплової обробці)

UA 129046 U

практично унеможливується. Тому ядро насіння ріцини піддають грубому подрібненню на однопарних площинних в валках.

Проміжок між валками встановлюють на 1,0-2,0 мм менше, ніж товщина середньої фракції ядра.

- 5 Відокремлена лузга підхоплюється струменем повітря, що створюється вентилятором 36 і переноситься у відцентрову осадочну камеру 9 шельмашини 3, де за рахунок відцентрових сил та збільшення об'єму, осідає і виводиться через вакуум-затвор 10 за межі шельмашини 3. Лузжистість ядра не повинна перевищувати 8,0-10,0%, вміст ядра в оболонку 0,3-0,4%, олійність лузги, що відходить не більше 1,5-1,8%. Лузга з осадочної камери 9 і прохід з
- 10 коливального решета шельма шини 3 пневмотранспортом спрямовується в приймальний бункер 1 парового котла для забезпечення обробки технологічною паром. Насіння ріцини мають найбільш активну (порівняно з іншими олійними культурами) ліпазу, тому після подрібнення ядра необхідно проводити інактивацію ферментного комплексу, для чого використовується шнек-інактиватор 11. Інактивацію ферментної системи отриманої м'ятки необхідно здійснювати зволоженням і нагріванням протягом 30-40 с з насиченою гострою паром до вологості 9,0-10,0% і температури 85-90 °С. При цьому кислотне число пресового масла
- 15 знижується в середньому на 0,6-0,8 мг КОН порівняно з маслами, які отримують із застосуванням традиційного методу смаження. Зі шнека-інактиватора 11 м'ятка надходить в багаточанову жаровню 12. У верхньому чані жаровні вологість м'ятки доводять до 13,0-13,5%. Зволожену м'ятку піддають подальшій тепловій обробці в самопропарюючих шарах з доведенням вологості при виході в прес до 5,0-6,0% і температури 100-108 °С. Тривалість смаження мезги при нормальному заповненні жаровень повинна складати 45-60 хв. Тиск зоболонкової пари в жаровні має бути 0,5 МПа. Відведення вологи з жаровні здійснюється за допомогою природної аспірації через витяжні труби, не допускаючи підсмоктування повітря в
- 20 чані жаровні. Від ступеня об'рунтованості режимів волого-теплової обробки м'ятки залежить якість і потенційний вихід олії після подальшого його віджимання в шнековому пресі.

- Попереднє віджимання мезги проводять на форпресі 13. Величина зазору між зерними пластинами повинна становити: на I ступені - 1,5 мм, на II-1,0, на III-0,75 і на IV-0,45 мм, частота обертання шнекового вала 18 об./хв... Олійність черепашки на виході з форпреса 17-20%,
- 30 вологість форпресової макухи 6-6,5%.

- Подрібнення форпресової макухи здійснюють послідовно в помальному шнеку 14 для макухи, однопарних вальцях 15 і норією 16. Подрібнена форпресова макуха за ступенем подрібнення повинна бути максимально однорідною за вмістом проходу через одноміліметрове сито не менше 80%. Подачу попередньо подрібненої форпресової макухи здійснюють норією
- 35 16. П'ятивалковий станок 17 встановлюється над багаточанною жаровню 18 експелерного преса 19.

- Подрібнена форпресова макуха подається у верхній чан експелерної жаровні 18. У верхньому чані жаровні шнекового форпреса мезга піддається вторинному зволоженню до 7-7,5% водою і насиченою гострою паром. Зволожена м'ятка проходить подальшу теплову обробку в самопропарюючих шарах товщиною 250-350 мм з доведенням вологості при виході в прес до 3,7-4,2% і температури 115-120 °С. Тривалість жаріння мезги при нормальному заповненні жаровень повинна становити 45-60 хв. Тиск зоболонкової пари в жаровні повинен бути 0,5 МПа. Відведення зайвої вологості з другого і третього чанів регулюють засушками витяжних вікон без примусової вентиляції.
- 40

- Остаточне віджимання олії проводиться в експелерному пресі 19. Зазори між зерними пластинками (мм): I секції - 0,8-1,0; II секції - 0,5-0,7; III секції - 0,25; IV секції - 0,15. Частота обертання шнекового вала 4,5-5,5 об./хв... Олійність макухи при фактичній вологості, не вище 6,0%.
- 45

- Подрібнення експелерної макухи здійснюють послідовно в ламальному шнеку 20 для макухи, однопарних вальцях 21 на п'ятивалковому станку 23, подана в який здійснюється норією 22. Подрібнена експелерна макуха за ступенем подрібнення повинна бути максимально однорідною за вмістом проходу через одно міліметрове сито не менше 80%. Подрібнена експелерна макуха далі надходить в охолоджувальну колонку 24 і в цех детоксикації ріцини, ріциніну і алергенів.
- 50

- Форпресова олія з преса 13 надходить в двосну гущеловку 25, з якої насосом 26 подається в електрофлотатор 27 і далі в трубчатий теплообмінник 28. Бак 29 складу готової продукції. Експелерна олія з преса 19 надходить в двосний гущелувлювач 30, з якої насосом 31 подається в електрофлотатор 32 і далі в трубчатий теплообмінник 33. Бак 34 складу готової продукції.
- 55



УКРАЇНА

(19) UA (11) 37109 (13) A

(51) 7 B03C5/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДвиздається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЕЛЕКТРИЧНИЙ ФІЛЬТР І СПОСІБ ЙОГО РЕГЕНЕРАЦІЇ

(21) 2000031620

(22) 22.03.2000

(24) 16.04.2001

(33) UA

(46) 16.04.2001, Бюл. № 3, 2001 р.

(72) Дідур Володимир Володимирович, Крижанівський Микола Леодякович, Красніков Юрій Вікторович, Дідур Володимир Асентійович

(73) ТАВРИСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА АКАДЕМІЯ

(57) 1. Електричний фільтр, який має корпус з входом та виходом, першим та другим електродами з отворами, що перевищують розміри затриманих домішок, які встановлені на відстані один від одного, фільтруючий елемент з діелектричного матеріалу,

встановлений між електродами, що має пори більші частинок домішок, які знаходяться в очищувальній рідині, який відрізняється тим, що фільтруючий елемент, виконаний у вигляді прониної гідрофобної перегородки, у вузлах якої розташовані зерна сегнетоелектрика на відстані двох-трьох їх радіусів.

2. Спосіб регенерації електричного фільтру, що полягає у знятті напруги з електродів і проходженні під тиском чистої робочої рідини, який відрізняється тим, що до електродів підключають вихід генератора ультразвукових частот, який настроєно на резонансну частоту сегнетоелектрика, а через патрубкі подають зустрічний потік чистої робочої рідини.

Винахід відноситься до пристроїв для очищення діелектричних рідин від механічних домішок і емульгованої води в електричному полі, може бути використано для очищення дизельного палива, мастил та рідин гідросистем у всіх галузях народного господарства.

С відомими фільтр для очищення рідини (А. С. СРСР № 1472097 МКВ) який включає коаксіальне встановлені електроди складної форми. Очищення електродів здійснюється за рахунок вібрації центрального електрода під дією підвального струму рідини.

Недоліком даного пристрою є низька ефективність за рахунок безперервного скидання забруднень з центрального електрода і часткового повертання їх в рідину, що очищується.

Як прототип обраний електричний фільтр для мастила (пат. США № 4601799, 1988р., який включає корпус з входом і виходом, з встановленими в ньому електродами з отворами, перевищувачими розміри затриманих домішок, причому електроди розміщені на деякій відстані між собою, фільтруючий елемент з діелектричного матеріалу, встановлений між електродами, який має пори більші, ніж частки домішок, які знаходяться в очищувальній рідині.

С відомими спосіб регенерації електричного фільтру (описаний в А. С. «Пристрій для очищення рідини в електричному полі» № 1450886 МКВ B03C 5/00 1989р., який обраний за прототип).

Регенерація пристрою здійснюється зняттям напруги з електродів і проканкою чистої робочої рідини.

Недоліком відомих пристрою і способу є недостатньо висока якість очищення і низька ефективність регенерації.

В основу винаходу покладена задача удосконалення електричного фільтру і способу його регенерації, в якому у фільтруючому елементі використовують зерна сегнетоелектрика, розташовані на визначеній фіксованій відстані, що забезпечує збільшення коефіцієнта фільтрації в області великих та малих частинок, підвищується якість очищення. Використання способу очищення забезпечує високу ефективність регенерації і дозволяє усунути розбирання фільтру при технічному обслуговуванні (Т.О.).

Поставлена задача вирішується тим, що електричний фільтр, який включає корпус з входом і виходом, першим і другим електродами з отворами, що перевищують розміри затриманих домішок, встановлених на відстані один від одного, фільтруючий елемент з діелектричного матеріалу, встановлений між електродами, який має пори більші частин домішок, які знаходяться в очищувальній рідині згідно винаходу, фільтруючий елемент виконаний у вигляді прониної гідрофобної перегородки, у вузлах якої розташовані зерна сегнетоелектрика на відстані $2x - 3x$ її радіусів.

Поставлена задача вирішується також тим, що спосіб регенерації електричного фільтру, в якому

(19) UA (11) 37109 (13) A

знімають напругу з електродів і прокачують чисту робочу рідину згідно винаходу, до електродів підключають вихід генератора ультразвукових частот, настроєного на резонансну частоту сегнетоелектрика, а через патрубком подають зустрічний потік чистої робочої рідини.

Застосування фільтруючого елемента з використанням зерен сегнетоелектрика, розташованих у вузлах гідروفобної перегородки на відстані $2x - 3x$ їх радіусів дозволяє підвищити коефіцієнт фільтрації в області великих і малих частинок, підвищити тонкість очищення, зменшити геометричні розміри фільтру при тих же показниках, а використання в способі регенерації генератора ультразвукових частот, настроєного на резонансну частоту сегнетоелектрика дозволяє забезпечити високу ефективність регенерації, виключити розбирання фільтра при ТО, а також при зберіганні ефективності зняти напругу на електродах.

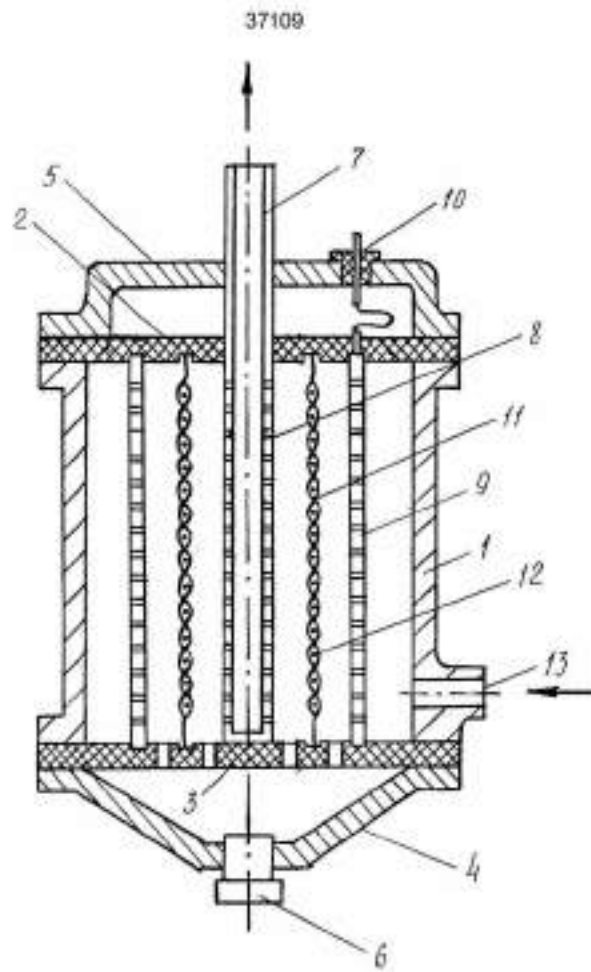
На фігурі - зображений електричний фільтр.

Електричний фільтр що має корпус 1, в якому за допомогою фланця, через ізолюючі прокладки 2 і 3 приєднані нижня 4 і верхня 5 кришки. У нижній кришці 4, конічної форми, розміщується зливний отвір 6, закритий гвинтовою пробкою. Через верхню кришку 5 виходить вихідний патрубок 7, який переходить в другий електрод 8. Першим електрод 9 розташовується у пазах верхньої 2 і нижньої 3 ізолюючих прокладок і за допомогою дроту підключений до високовольтного вводу 10.

Між електродами 8, 9 у пазах прокладок 2, 3 розміщується фільтруючий елемент 11 у вигляді промінної гідروفобної перегородки, в вузлах якої

розташовані зерна сегнетоелектрика 12 на відстані $2x - 3x$ їх радіусів (наприклад з титаніта барія або титаніта стронцію). Фільтруючий елемент 11 може виконуватися з простьобаної тканини, налягнутої на жорсткий каркас. Корпус 1 фільтра має вхідний патрубок 13. Очищувальна рідина через вхідний патрубок 13 надходить у корпус фільтра 1. Через отвір першого електроду 9 рідина з домішками надходить в міжелектродний простір. Зерна сегнетоелектрика 12, розміщені в міжелектродному просторі, виступають у якості зародків коагуляції домішок, які мають діелектричну проникність, що відрізняється від проникності очищуваної рідини. Недопустимо торкання зерен сегнетоелектрика між собою, так як знижується ефективність очищення і також недопустимо збільшення відстані більш $2 - 3x$ їх радіусів, що також знижує ефективність очищення. Означена частина домішок осідає на електродах 8, 9 більша - на зернах 12 фільтруючого елемента 11.

В перервах роботи електричного фільтру при знятій напрузі частка домішок під дією сили ваги переміщується донизу і при злив через отвір у нижній прокладці 3 і зливний отвір 6 видаляється з фільтра, для повного очищення фільтруючого елемента до високовольтного вводу 10 відносно корпусу підключається вихід генератора ультразвукових частот, а з допомогою насоса утворюється зворотна течія промінних рідин, наприклад, газу. Під дією змінного електричного поля, виникаючого у міжелектродному просторі, збуриються адлявання зерен сегнетоелектрика, що приводить до залягання від утримання домішок.



Фіг.

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-81-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
 Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
 (044) 268-25-22