

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Удосконалення технологічної лінії переробки
насіння рицини**

Виконала: здобувачка вищої освіти 5 курсу,
групи ХТз-1-20 освітньо-професійної програми
«Харчові технології» зі спеціальності
181 «Харчові технології»

_____ Наталія БОДНЯ

Керівник: _____ Наталія СОВА

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«07» травня 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Бодні Наталії Олександрівни

1. Тема роботи: «Удосконалення технологічної лінії переробки насіння рицини». Керівник роботи: Сова Наталія Анатоліївна, кандидатка технічних наук, доцентка, затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» травня 2025 року № 962.
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 09 червня 2025 року.
3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія переробки насіння рицини. 2. Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Аналітичний огляд. 2 Технологічна частина. 3 Проектна частина. 4 Дослідження технологічного процесу. 5 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 6 Техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Постановка питання. 2 Мета і завдання досліджень. 3 Технологічна схема переробки насіння рицини. 4 Технічна характеристика малотоннажних підприємств з переробки насіння рицини. 5 Операційна схема технології переробки насіння рицини дворазовим пресуванням. 6 Дослідження детоксикації насіння рицини інфрачервоним випромінюванням. 7 Економічні показники. 8 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Доцентка Наталія СОВА	07.05.25	09.06.25

7. Дата видачі завдання 07 травня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	07.05-08.05.25	виконано
2	Аналітичний огляд	09.05-14.05.25	виконано
3	Аналіз існуючих технологій детоксикації насіння рицини і продуктів її переробки	15.05-16.05.25	виконано
4	Розрахунок технологічних показників	17.05-23.05.25	виконано
5	Дослідження детоксикації насіння рицини інфрачервоним випромінюванням	24.05-31.05.25	виконано
6	Охорона праці та захист навколишнього середовища	01.06-02.06.25	виконано
7	Техніко-економічне обґрунтування	02.06-05.06.25	виконано
8	Підготовка демонстраційного матеріалу	06.06-09.06.25	виконано

Здобувач вищої освіти

_____ Наталія БОДНЯ
(підпис)

Керівник роботи

_____ Наталія СОВА
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Удосконалення технологічної лінії переробки насіння рицини»

Кваліфікаційна робота: 75 сторінок, 14 рисунків, 10 таблиць, 0 додатків, 25 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – технологія переробки насіння рицини.

Предмет дослідження – зв'язок показників якості продуктів переробки насіння рицини та технологічних параметрів процесу.

Метою роботи є обґрунтування та розроблення ефективної технологічної схеми переробки насіння рицини з отриманням технічної рицинової олії та знешкодженої кормової макухи, що відповідає сучасним вимогам якості, безпеки, екологічності та економічної доцільності.

У роботі розглянуто технологічний процес переробки насіння рицини з акцентом на попередню підготовку сировини, розробку функціонально-технологічної схеми та оптимізацію режимів пресування з відділенням насінневої оболонки. Проведено аналіз існуючих методів детоксикації насіння та продуктів переробки, обґрунтовано технологічну схему детоксикації рицинової макухи для кормових цілей. Зроблено технологічний розрахунок, охарактеризовано сировину і продукцію, виконано розрахунок основних показників ефективності. Досліджено методику та результати детоксикації насіння інфрачервоним випромінюванням. Особлива увага приділена охороні праці, техніці безпеки та захисту навколишнього середовища, а також пожежній безпеці. Проведено техніко-економічне обґрунтування удосконаленої технологічної лінії з розрахунком економічних показників.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РИЦИНА, РИЦИНОВА ОЛІЯ, КОРМОВА МАКУХА, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ТЕРМІЧНА ДЕТОКСИКАЦІЯ, ІЧ-ОБРОБКА, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, МІНІ-ЗАВОД, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, РЕНТАБЕЛЬНІСТЬ, ПЕРЕРОБКА НАСІННЯ, АСПІРАЦІЯ, ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	9
1.1 Попередня підготовка насіння рицини.....	9
1.2 Технологічна схема переробки насіння рицини	12
1.3 Технологічний режим роботи устаткування при дворазовому пресуванні насіння рицини з відділенням насінневої оболонки.....	17
Висновки за розділом.....	24
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	25
2.1 Аналіз існуючих технологій детоксикації насіння рицини та продуктів її переробки.....	25
2.2 Обґрунтування функціонально-технологічної схеми процесу детоксикації рицинової макухи на кормові цілі	31
Висновки за розділом.....	38
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	40
3.1 Технологічний розрахунок	40
3.2 Характеристика вихідної сировини і продукції, що виготовляється.....	42
3.3 Розрахунок основних показників	44
Висновки за розділом.....	48
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	50
4.1 Методика досліджень детоксикації насіння рицини інфрачервоним випромінюванням.....	50
4.2 Результати досліджень детоксикації насіння рицини інфрачервоним випромінюванням.....	51
Висновки за розділом.....	55
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	56
5.1 Правила безпеки ведення процесу.....	56
5.2 Пожежовибухонебезпечні й токсичні властивості продукції, що виготовляється, сировини, напівфабрикатів і допоміжних матеріалів	57

	6
5.3 Загальні вимоги техніки безпеки до устаткування й апаратури	58
5.4 Електробезпека	59
5.5 Захист довкілля від забруднюючих викидів	61
Висновки за розділом.....	66
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	67
6.1 Розрахунок економічних показників удосконаленої технологічної лінії переробки насіння рицини.....	67
Висновки за розділом.....	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	71
БІБЛІОГРАФІЯ	73

ВСТУП

Рицину відносять до числа перспективних олійних культур. Її насіння містить до 57 % рицинової олії, що суттєво вирізняється серед інших рослинних олій завдяки високій концентрації рицинолевої кислоти, яка становить 75–85 %. Окрім олії, в насінні рицини містяться: білкові речовини (14–23 %), безазотисті речовини (10–12 %), близько 14 % золи, клітковина (18–19 %), камедь, смола та алкалоїд рицинин ($C_8H_8N_2O_2$) і надзвичайно отруйний фітотоксин рицин (*Ricinum*). Білки представлені головним чином глобуліном і альбуміном; до білкових речовин відносять і отруйну речовину – рицин.

У процесі переробки насіння рицини на олію утворюється близько 40–45 % побічних продуктів у вигляді макухи та шроту, які містять до 40 % білка, близько 15 % олії та інші цінні біологічні компоненти. Вони є високопоживним білковим продуктом (71 корм. од. в 100 кг). Однак, необхідно акцентувати увагу на те, що макуха або шрот, які отримують при видобуванні олії з насіння рицини, також отруйні та містять до 0,15–0,18 % рицину. Ці речовини становлять серйозну небезпеку для сільськогосподарських тварин, тому залишки після віджимання олії категорично не можна використовувати як кормову добавку або вносити на поля як добриво. Їх обов'язково слід попередньо знешкодити шляхом детоксикації. Як показав вітчизняний і зарубіжний досвід, після детоксикації шкідливих речовин макухи рицини її можна успішно використовувати на корм великій рогатій худобі, свиням та птиці [1].

Таким чином, технологічний процес глибокої переробки насіння рицини для використання в енергетичних і кормових напрямках має включати такі ключові особливості [2-5]:

- проведення інактивації ферментних систем перед застосуванням вологотеплової обробки;
- здійснення двоетапного пресування – спочатку на форпресі, а потім на експелерному пресі – з попереднім вологотепловим впливом у багаточанних парових жаровнях, без подальшої екстракції;

- оптимізацію режимів жарення та пресування з метою зменшення масової частки відстою в процесі одержання олії;
- проведення первинного очищення олії із застосуванням гарячої фільтрації;
- впровадження методів детоксикації продуктів переробки рицини;
- мінімізацію шкідливих викидів в атмосферу шляхом використання напівзамкнених систем і тріступеневого очищення повітря;
- організацію технохімічного контролю на всіх етапах виробництва.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування та розроблення ефективної технологічної схеми переробки насіння рицини з отриманням технічної рицинової олії та знешкодженої кормової макухи, що відповідає сучасним вимогам якості, безпеки, екологічності та економічної доцільності.

Задачі дослідження:

- проаналізувати стадії технологічного процесу переробки насіння рицини та визначити умови для максимального вилучення олії при збереженні її якості;
- встановити ефективний і безпечний метод детоксикації рицинової макухи, придатний для застосування на малотоннажних підприємствах;
- побудувати функціонально-технологічну схему виробництва з урахуванням вимог безпеки, екологічної ефективності та енергозбереження;
- визначити ключові технологічні параметри процесу термічної детоксикації із застосуванням ІЧ-випромінювання;
- розробити заходи з охорони праці та промислової безпеки для умов роботи з токсичною сировиною та продуктами її переробки;
- провести економічну оцінку ефективності впровадження проєкту, зокрема аналіз прибутковості, рівня рентабельності та терміну окупності.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Попередня підготовка насіння рицини

Первинне очищення насіння рицини. Насіння рицини очищають на зерноочисних машинах ОВА-1,0, ОС-4,5А, Петкус-гігант, ДО-547А з виключеною трієрною системою при відповідному виборі решет. Для середньонасінневих сортів використовують сортувальні решета з поздовжніми отворами шириною 6,5; 6,8; 7 мм; підсівні із круглими отворами діаметром 7 і 8 мм і з довгастими отворами шириною 5; 5,2; 5,5 мм. Для дрібнонасінневих сортів використовують сортувальні решета шириною 6; 6,2; 6,5, підсівні – із круглими отворами діаметром 7 мм і довгастими отворами шириною 4,5; 4,8; та 5 мм. Для крупнонасінневих – сортувальні з отворами шириною 7,5; 8 мм, підсівні із круглими отворами діаметром 8 і 9 мм і довгастими отворами шириною 6 та 6,5 мм.

Важковідокремлювальні домішки, що залишилися після повітрянорешітного очищення, можна вилучити, використовуючи розходження по щільності або інших ознаках. Так, незріле насіння в основному має щільність нижче $0,85 \text{ г/см}^3$, а нормально сформоване – вище зазначеної величини. Меншою щільністю володіють також супліддя дурнишника й третинки ($0,65\text{--}0,80 \text{ г/см}^3$). Це дає можливість відокремити їх на переобладнаних пневматичних сортувальних столах.

Сушіння насіння рицини. Сушіння насіння і коробочок проводять у щільному шарі (у насипі) та розпушеному шарі в барабанних сушарках.

При сушінні в насипі вологе насіння, коробочки або змішану масу, що надходить від комбайнів, засипають у камери лоткових сушарок або в бункери активного вентилявання. Підігріте повітря, що подається від повітропідігрівників ВПТ-400, ВПТ-600, теплогенераторів Т2-75, Т2-150 через систему щілин потрапляє в шар насіння або коробочок. Для рівномірного висушування розподільні ґрати в складах розташовані суцільним настилом або із проміжками не більше ніж 500 мм. При вентиляванні насіння рицини технічного призначення треба підтримувати температуру агента сушіння в межах $45\text{--}55 \text{ }^\circ\text{C}$. Вентилювання рекомендують

закінчувати при вологості плодів верхніх шарів насипу 9–11 та насіння 8–9 %.
Режими сушіння плодів та насіння рицини представлені в табл. 1.1 [4].

Таблиця 1.1 – Режимы сушіння плодів і насіння рицини

Вологість, %	Мінімальна питома подача агента сушіння, м ³ /(год·т)	Висота насипу (не більше) м, при вентиляванні на установках			
		СВУ-63 УСВУ-62	СВУ-2	СВУ-1	ГИПЗП-48 ГИПЗП-55
Плоди рицини (45 – 55 ⁰ С)					
До 10	200	3,5	3,5	2,0	1,7
15	350	2,3	2,8	1,1	1,0
20	450	1,8	2,2	0,9	0,8
25	600	1,3	1,7	0,7	0,6
30	800	1,00	1,2	0,5	0,4
35	1000	0,8	1,0	0,4	–
Насіння рицини (40 – 45 ⁰ С)					
До 15	300	2,2	2,6	1,1	0,9
20	600	1,7	1,4	0,6	0,5
25	900	1,1	0,9	0,4	0,4

Температуру агента сушіння перевіряють постійно, а температуру в різних ділянках насипу через 4–6 год. Після сушіння рицину охолоджують атмосферним повітрям.

Сушіння рицини у вентиляльованих бункерах з радіальним розподілом повітря БВ-25, БВ-40, ДО-878 характеризується високим ступенем механізації процесу вентилявання й вантажно-розвантажувальних робіт. При цьому витримується постійна товщина шару, що продувається, забезпечується сушіння невеликих окремих партій насіння або скупчень, є гарна можливість компонування потокової лінії.

У табл. 1.2 наведено рекомендовані режими сушіння рицини технічного призначення у вентиляльованих бункерах [5].

Для сушіння рицини в розпушеному шарі створені сушарки рицинові пересувні барабанні СКПБ-1,8. Сушіння маси та плодів рицини в барабанних сушарках відбувається при температурі теплоносія 200–300 °С, а насіння технічного призначення – при температурі агента сушіння 180–190 °С. Оскільки

вплив теплоносія є короткочасним, товарне насіння нагрівається не більше 60 °С і псування не відбувається.

Таблиця 1.2 – Режими сушіння насіння рицини технічного призначення у вентильованих бункерах

Вологість рицини, %	Температура агента сушіння, град.С	Мінімальна питома подача агента сушіння, м ³ /(год·т)	Тривалість сушіння, год
До 10	60	400	8 – 9
10–15	60	700	10 – 12
15–20	55	1000	10 – 12
20–25	55	1000	12 – 14

Обмолот коробочок і третинок насіння рицини. Зібрані при комбайновому збиранні необмолочені коробочки (бункер необмолочених вологих коробочок комбайнів ККС-6, ККС-8), а також відділені на очисній машині третинки, підлягають подальшій доробці. Кількість цих коробочок може складати 5–20 % від загального врожаю рицини й залежить від погодних умов при вегетації рослин. Вологість бункерного вороху коробочок може становити до 25–50 %. Його треба висушити, коробочки обмолотити, а насіння очистити. Висушені коробочки обмолочують в стаціонарі рицинозбиральним комбайном або рициновою молотаркою КЦМ-3 [6].

Зберігання насіння рицини. Рицину розміщують в окремих сховищах, не суміжних із зерносховищами, призначеними для інших культур.

Рицину в коробочках, третинках або в суміші обмолоченого чи необмолоченого насіння розміщують окремо. Якщо насіння надходять вологим, його сушать до вологості 7–8 % і зберігають при висоті насипу до 3 м. Насіння, просушене до вологості 6 %, зберігають у насипі при висоті до 5 м. При виявленні в масі насіння рицини осередків самозігрівання її негайно піддають охолодженню вентиляванням атмосферним повітрям. Контролюють також зміну кольору й запаху, втрату насінням блиску, що свідчить про активний розвиток мікроорганізмів та погіршенні якості [7].

1.2 Технологічна схема переробки насіння рицини

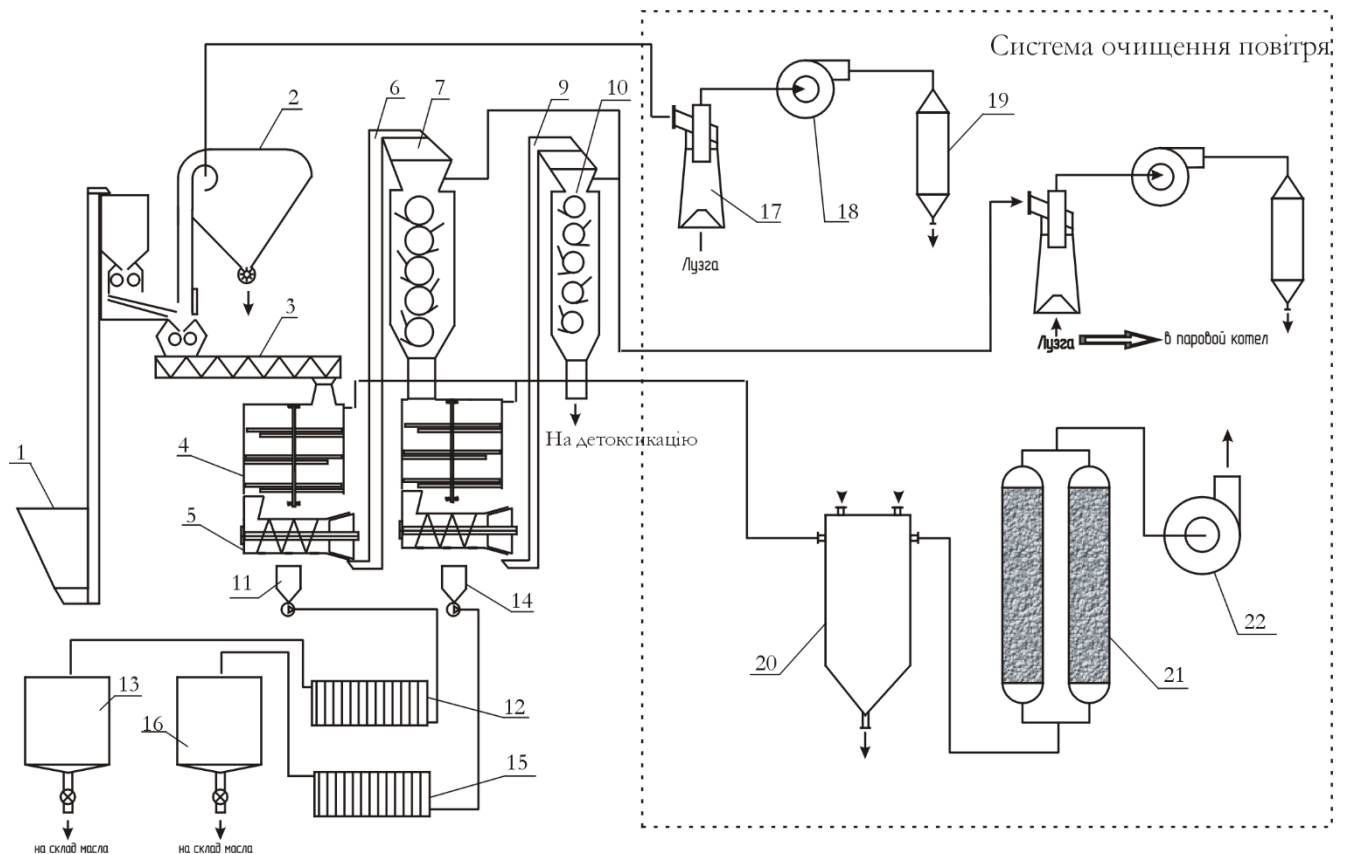
Технологічна схема переробки насіння рицини представлена на рис. 1.1. Відкаліброване й підсушене насіння рицини доставляється саморозвантажувальним транспортом у приймальний бункер 1, з якого норією подається в бункер шельмашини 2. Насіння з бункера через живильний валик надходить у зазор між валками, де здійснюється його розколювання. Зазор між валками регулюється таким чином, щоб зберегти цілісність ядра насінин. Отримана рушанка йде на струшувальне сито з діаметром отворів 3 мм. Прохід через сито, представлений в основному дрібною оболонкою, збирається в ринву й виводиться за межі шельмашини, а ядро й велика оболонка рухається сходом і потрапляє в пневмосепарувальний канал. Тут вільна оболонка й найдрібніше ядро підхоплюється струменем повітря, створюваним вентилятором 18 і несеться у відцентрову осадову камеру шельмашини, де за рахунок відцентрових сил і збільшення об'єму осаджуються й виводяться через вантажний клапан або вакуум-затвор за межі шельмашини. Схід з осадової камери надходить на контрольне сито, де відділяються дрібні частки ядра, а оболонка (схід з контрольного сита) й оболонка (прохід) із струшувального сита шельмашини пневмотранспортом подається в приймальний бункер парового котла [8].

Попереднє подрібнення ядра здійснюється на однопарних вальцях, при цьому зазор між вальцями встановлюється на 1,0–2,0 мм меншим за товщину середньої за розміром фракції насінневого ядра.

Отриману м'ятку очищають від металомангнітних домішок.

Підготовку мезги до пресування здійснюють послідовно інактивацією ферментативної системи м'ятки насіння рицини в пропарювально-зволожувальному шнеці (шнеці-інактиваторі) 3, вологотепловою обробкою в багаточанній форпресовій жаровні 4.

М'ятку в шнеці-інактиваторі відволожують і нагрівають насиченою гострою парою протягом 30–40 с із доведенням вологості до 9,0–10 % і температури до 85–90 °С [9].



1 – приймальний бункер, 2 – шельмашина; 3 – шнек-інактиватор; 4 – багаточанна парова жаровня; 5 – форпрес; 6, 9 – норія; 7, 10 – п'ятивальцьовий верстат; 11, 14 – гущеуловлювач; 12, 15 – фільтр-прес; 13, 16 – накопичувальний бак олії; 17 – регулюємий циклон; 18, 22 – відцентровий вентилятор; 19 – рукавний тканний фільтр; 20 – труба; 21 – трубчастий теплообмінник; 21 – адсорбер з активним вугіллям

Рисунок 1.1 – Технологічна схема переробки насіння ріцини

У верхньому чані м'ятку доводять до заданої вологості й температури гострою насиченою парою й розпилим конденсатом, у наступних чанах відбувається пропарювання, а потім сушіння м'ятки з доведенням її вологості й температури до необхідних величин. Тиск позасорочкової пари в днищі жаровні встановлюють 0,5 МПа. За рахунок регулювання пропускного клапана в днищах жаровні регулюють задану висоту мезги в чанах. Відвід вологи з жаровні здійснюють за допомогою природної аспірації через витяжну трубу, не допускаючи підсмоктування повітря в жаровнях [10].

Попереднє віджимання мезги виконується на форпресі 5, режими пресування встановлюються заданою величиною товщини форпресової макухи на виході й вихідних

параметрах форпресової мезги. Для використання всієї потужності форпресу по продуктивності та глибині віджимання олії без погіршення якості останнього необхідно:

- підтримувати безперервне й рівномірне надходження м'ятки в жаровню;
- забезпечувати безперервне й рівномірне надходження мезги в прес, для чого стежити за постійним живленням і заповненням зєрних камер, керуючись характером і виходом відпресованої черепашки й показанням амперметрів приводних електродвигунів;
- стежити за тим, щоб макуха на виході із пресів була щільною, без дріб'язку й з боку, зверненого до пресуючого валу мала гладку поверхню, а з боку зєра – дещо пористу.

Нормальною вважається така робота форпресу, при якій найбільша кількість олії витікає наприкінці першої й другої секції зєра. У напрямку до виходу макухи інтенсивність витікання олії поступово падає.

Подрібнювання форпресової макухи здійснюється послідовно в ламальному шнеці для макухи, молотковій дробарці й на п'ятивальцьовому верстаті 7. Подрібнена форпресова макуха за ступені здрібнювання повинна бути максимально однорідною із вмістом проходу через одноміліметрове сито не менш 80 %. Доцільно додатково перед п'ятивальцьовим верстатом установити однопарний вальцьовий верстат.

Подрібнена форпресова макуха подається у верхній чан експелерної жаровні 8. У верхньому чані форпресову макуху зволожують гострою насиченою парою до заданої вологості. Тиск позасорочкової пари в днищі жаровні встановлюють рівним 0,5 МПа. Задана висота мезги в чанах регулюється пропускними клапанами в днищах жаровні. Макуху піддають вологотепловій обробці в шарах, що самопропарюються. Вологість і температуру мезги на виході доводять до заданих величин [11].

Видалення надлишкової вологи з другого та третього чанів здійснюється шляхом регулювання засувки витяжних вікон, без використання примусової вентиляції.

Заключне пресування проводиться в експелерному пресі 9, де режими роботи налаштовуються відповідно до заданої товщини макухи на виході та початкових характеристик мезги.

Для використання всієї потужності експелера по продуктивності й по глибині віджимання олії без погіршення якості останнього необхідно [12]:

- підтримувати безперервне й рівномірне надходження в жаровню матеріалу, що переробляється, з таким розрахунком, щоб чани були заповнені не менш ніж на $2/3$ по висоті;
- забезпечувати безперервне й рівномірне надходження мезги в прес, для чого стежити за роботою живильного пристрою, орієнтуючись на характер і вихід відпресованої черепашки й показаннями амперметра приводного електродвигуна;
- стежити за тим, щоб макуха по виходу із пресів була щільною, без дріб'язку й з боку, зверненого до пресуючого валу, мала гладку поверхню, а з боку зєєра – дещо пористу.

Нормальною вважається така робота експелера, при якій найбільша кількість олії відділяється наприкінці першої й другої секцій зєєра. У напрямку до виходу макухи інтенсивність витікання олії поступово падає.

Подрібнення експелерної макухи проводиться поетапно: спочатку в ламальному шнеці, потім у молотковій дробарці, а далі – на п'ятивальцьовому верстаті. У результаті обробки продукт повинен мати високу ступінь однорідності, з не менше ніж 80 % частинок, що проходять крізь сито з отворами 1 мм. Для підвищення ефективності подрібнення доцільно додатково перед п'ятивальцьовим верстатом встановити однопарний вальцьовий пристрій.

Подрібнена експеллерна макуха далі надходить у цех детоксикації.

Форпресова олія із преса 5 надходить у гущеуловлювач 11, з якого насосом подається у фільтр 12 і далі в накопичувальну ємність 13 складу готової продукції.

Експелерна олія із преса 9 надходить у гущеуловлювач 14, з якого насосом подається у фільтр 15 і далі в накопичувальну ємність 16 складу готової продукції.

Для вловлювання пилу насіння рицини передбачена напівзамкнена система очищення повітря в шельмашині 2. Повітря з пилом, що відсмоктується з відцентрової осадової камери шельмашини, надходить у регульований циклонний апарат 17, де відділяється понад 90 % пилу. Основна частина повітря після очищення вертається в

пневмосепарувальний канал шельмашини, а інша частина подається відцентровим вентилятором 18 на подальше очищення в рукавний тканний фільтр 19.

Повітря, яке відводиться від обладнання, що здійснює механічну обробку насіння рицини, проходить двоетапне очищення – спочатку в регульованому циклоном, а потім у рукавному тканинному фільтрі.

Пароповітряна суміш, що відсмоктується з жаровень 4 і 8, також очищується у два етапи: спочатку пара конденсується в трубчастому теплообміннику 20, після чого повітря проходить остаточну очистку в адсорбері 21, заповненому активованим вугіллям.

На рис. 2.2 надано технологічну схему використання лузги при переробці насіння рицини [13].

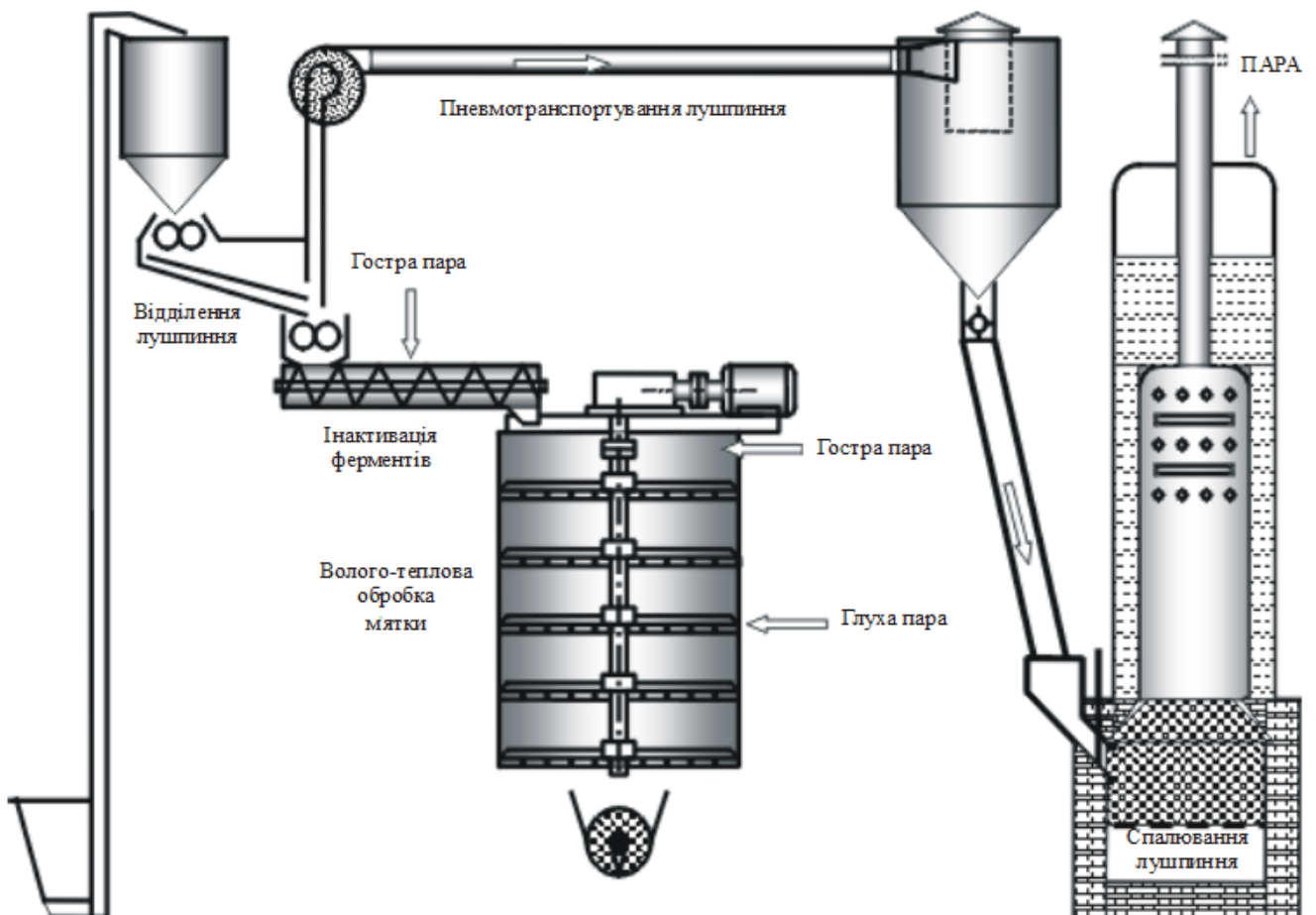


Рисунок 1.2 – Технологічна схема використання лузги при переробці насіння рицини

1.3 Технологічний режим роботи устаткування при дворазовому пресуванні насіння рицини з відділенням насінневої оболонки

Обрушення насіння рицини потрібно проводити на однопарних вальцях із зазором між ними на 0,5–1,0 мм менше товщини зерна рицини. Вологість насіння 7,0–8,0 %. Відділення дрібної фракції лушпиння з отриманої рушанки здійснюється на решеті, що коливається, з діаметром отворів 3 мм. Велику фракцію необхідно відокремлювати у вертикальному пневмосепарувальному каналі. Допустимий вміст лузги в ядрі не повинен перевищувати 8,0–10,0 %, втрати ядра з оболонкою – 0,3–0,4 %, а вміст олії у відходах лушпиння – не більше 1,5–1,8 %.

Через високу олійність ядро насіння рицини при інтенсивному подрібненні перетворюється на мазеподібну масу, що легко злипається у грудки, погано транспортується та ускладнює рівномірне зволоження під час наступного етапу волого-теплової обробки. Тому ядро насіння рицини з вологістю 7 % піддають грубому подрібнюванню на однопарних плющильних валках. Зазор між валками на 1,0–2,0 мм менше, ніж товщина середньої фракції ядра.

Ступінь подрібнювання потрібно контролювати по кількості нероздавлених насінин. При грубому подрібнюванні частина насінин значною мірою деформується.

Інактивація ферментної системи отриманої м'ятки повинна відбуватися шляхом зволоження і нагрівання насиченою парою протягом 30–40 с до досягнення вологості 9,0–10,0 % та температури 85–90 °С.

Регулювання подачі пари у форсунки інактиватора здійснюється вентилями й контролюється за допомогою манометра. Залежно від інтенсивності подачі м'ятки тиск пари перед форсунками підтримується в межах 2–2,5 МПа.

У першому чані жаровні вологість м'ятки доводиться до 13,0–13,5 %. Потім зволожену м'ятку піддають подальшій тепловій обробці в самопропарюваних шарах завтовшки 350–450 мм, де вологість на вході в прес знижується до 5,0–6,0 % при температурі 100–105 °С [14].

При стандартному рівні завантаження жаровень процес термічної обробки мезги триває від 45 до 60 хв. Пара, що подається у жаровню поза сорочкою, має тиск 0,5 МПа. Видалення вологи відбувається природним шляхом через витяжні труби, при цьому необхідно запобігати попаданню повітря всередину чанів.

На виході з форпресу товщина утвореної черепашки становить 11–15 мм. Зеєрні пластини мають різний зазор: на першому ступені – 1,5 мм (іноді 1,75 мм), другому – 1,0 мм, третьому – 0,75 мм, четвертому – 0,45 мм. Шнековий вал працює зі швидкістю 18 обертів на хвилину. Вміст олії в черепашці після форпресування становить 17–20 %, а вологість макухи – 6–6,5 %. Продуктивність устаткування складає 15 т насіння рицини за добу [15].

Після форпресування макуху подрібнюють до стану, коли щонайменше 80 % частинок проходить крізь сито з отворами діаметром 1 мм, що забезпечує рівномірність помелу.

У верхніх чанах жаровень, які працюють у складі шнекових форпресів, мезгу додатково зволожують до рівня 7–7,5 % за допомогою води, перегрітої пари або, що ефективніше, суміші пари з водою, що вприскується.

Отриману зволожену м'ятку обробляють теплом у самопропарюваних шарах товщиною 250–350 мм. Перед подачею в прес вологість матеріалу знижують до 3,7–4,2 % при температурі 115–120 °С.

Вологу з другого та третього чанів видаляють через витяжні вікна з регулюванням за допомогою засувок, без використання примусової вентиляції.

Режим і показники роботи експелера при переробці форпресової мезги насінин рицини наступні [16]:

- зазори між зеєрними 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 валу 4,5–5,5 об/хв;
- товщина макухової черепашки 5–7 мм;
- олійність макухи, при фактичній вологості, не вище 6,0 %;
- продуктивність преса 15 т/добу насіння рицини.

Первинне очищення олії повинно включати два етапи – очищення на подвоєному гущеуловлювачі, на центрифусі або на фільтр-пресі.

Фільтрацію рицинової олії варто проводити при 90–95 °С і тиску 0,2–0,3 МПа (2–3 атм) через два шари бавовняної тканини (бельтинг та змішані суворі фільтрувальні) ДСТУ 332.

Одержувана за такою схемою очищення олія містить 0,1–0,25 % вагового відстою й не більше 0,09 % фосфору в перерахуванні на стеароолеолецитин, що дозволяє повністю відмовитися від парової гідратації.

Після фільтрації олію охолоджують у трубчастому теплообміннику до температури, яка не перевищує температуру навколишнього середовища більше ніж на 8–10 %.

У табл. 1.3 надані норми технологічних режимів і якісних показників виробництва олії рицинової технічної і кормової рицинової макухи дворазовим пресуванням з попереднім відділенням лушпиння [17].

Таблиця 1.3 – Норми технологічних режимів і якісних показників виробництва олії рицинової технічної і кормової рицинової макухи дворазовим пресуванням з попереднім відділенням лушпиння

№	Найменування операцій	Кінцевий продукт	Найменування устаткування	Параметри технологічних режимів	Очікувані якісні показники
1. Підготовчі операції					
1.1	Прийом очищеного насіння	Очищене насіння	Приймальний бункер	–	–
1.2	Калібрування насіння	Насіння рицини, каліброване по товщині насіння	Калібрована машина	–	–
1.3	Транспортування насіння	Насіння рицини	Норія	–	Відсутність м'ятої рицини (тістоподібної маси, що налипає на рушійні частини транспортуючих пристроїв)

№	Найменування операцій	Кінцевий продукт	Найменування устаткування	Параметри технологічних режимів	Очікувані якісні показники
1.4	Кондиціонування насіння по вологості	Кондиціоноване насіння рицини	Зволожувач, бункер для відлежування насіння	При вихідній вологості насіння 5,0–6,0 % зволоження насіння водою до 6,0–7,0 % вологості й відлежування в бункері протягом 8 год	Рівномірний розподіл вологи між насінням. Вологість насіння 7,0–8,0 %; вологість ядра
1.5	Сушіння насіння перед обрушенням	Насіння рицини	Сушарка в киплячому шарі	–	Вологість насіння 7,0–8,0 %
1.6	Обрушення насіння і відділення лузги	Рушанка насіння рицини: (ядро, насіння, лузга, дробленка), вільна лузга	Шельмашина, обрушення на однопарних вальцях, відділення лузги на коливальному ситі й повітряним потоком	Зазор між валками на 0,5–1,0 мм менше товщини зерна рицини. Вологість насіння 7,0–8,0 %. Діаметр отворів коливального решета 3 мм	Лузжистість ядра не більше 8,0–10,0 %, винос ядра в оболонку не більше 0,3–0,4 %, олійність лузги, що відходить, не більше 1,5–1,8 %
1.7	Грубе подрібнення	Грубо подрібнене ядро	Однопарні вальці	Зазор між валками на 1,0–2,0 мм менше, ніж товщина середньої фракції ядра	Не перетворювати в мазеподібний продукт. Контролювати по кількості не роздавлених ядер насіння
2. Волого-теплова обробка й пресування					
2.1	Інактивація ферментативної системи м'ятки насіння рицини	Інактивована м'ятка	Шнек-інактиватор	Зволоження й нагрівання протягом 30–40 с насиченою парою до вологості 9,0–10,0 % і температури 85–90 °С, тиск пари перед форсункою підтримувати 0,2–0,25 МПа	Визначити вплив інактивації на якість олії й відстій: зниження кислотного й перекисного чисел, зниження відстою

№	Найменування операцій	Кінцевий продукт	Найменування устаткування	Параметри технологічних режимів	Очікувані якісні показники
2.2	Вологотеплова обробка інактивованої м'ятки	Мезга для форпресування	Багаточанна парова жаровня	Зволоження м'ятки в першому чані до 11–13,5 %, висота самопропарюваного шару мезги в кожному чані повинна бути 250–450 мм. Час жарення 45–60 хв. Тиск позасорочкової пари 0,5 МПа. Відвід вологи з жаровні здійснювати природною аспірацією.	Вологість мезги, що йде в прес – 5,0–6,0 %, температура мезги, що пресується – 100–105 °С
2.3	Форпресування	Форпресова олія, форпресова макуха	Форпрес	Товщина черепашки на виході із преса 11–15 мм. Величина зазору між зерними пластинами становить: I щабель – 1,5 мм (іноді 1,75), II – 1,0, III – 0,75 і IV – 0,45 мм	Олійність черепашки на виході з форпреса 17–20 %
2.4	Грубе подрібнення	Грубо подрібнена форпресова макуха	Розпушувач макухи	–	–
2.5	Грубе подрібнення	Грубо подрібнена форпресова макуха	Однопарні рифлені вальці	–	–
2.6	Тонке подрібнення	Подрібнена рицинова форпресова макуха	П'яти-вальцьовий верстат	Через чотири проходи	Подрібнення повинне бути однорідним із вмістом проходу через одно-міліметрове сито не менш 80 %

№	Найменування операцій	Кінцевий продукт	Найменування устаткування	Параметри технологічних режимів	Очікувані якісні показники
2.7	Вологотеплова обробка подрібненої форпресової макухи	Експелерна мезга	Багаточанна жаровня	Зволоження до 7–7,5 % водою, гострою парою або пароводяним уприскуванням, тиск насиченої позасорочкової пари в жаровнях у межах 0,50 Мпа. Висота шаруючої мезги 300–350 мм, час готування в жаровні 45–60 хв	Вологість мезги, що надходить в експелер, має бути 3,7–4,2%, а температура 115–120 °С. Готовність мезги визначали за показниками амперметра на експелерному пресі (22 А)
2.8	Експелерне пресування	Експелерна макуха	Пресс-експелер	Товщина черепашки на виході із преса 5–7 мм. Величина зазору між зерними пластинами становить: I щабель 0,8–1,0 мм; II – 0,5–0,7 мм; III – 0,25 мм і IV – 0,15 мм. Частота обертання шнекового валу 4,5–5,5 об/хв	Олійність макухи при фактичній вологості не вище 6 %. Продуктивність преса 15 т/добу насіння рицини
3. Первинне очищення олії					
3.1	Відстій	—	здвоєний гущеуловлювач	—	—
3.2	Центрифугування	—	—	—	—
3.3	Гаряча фільтрація	—	Фільтрпрес	Температура фільтрації 90–95 °С, тиск 0,2–0,3 МПа, фільтрування	Ваговий відстій не більше 0,09 % фосфору в перерахуванні на стеароолеолецитин. Якість

№	Найменування операцій	Кінцевий продукт	Найменування устаткування	Параметри технологічних режимів	Очікувані якісні показники
				через два шари тканини	технічної рицинової олії відповідно до ДСТУ 6757-73
3.4	Охолодження олії	Гаряча олія	Трубчастий теплообмінник	—	Температура олії на виході з теплообмінника не більше ніж на 3–5 °С вище навколишньої
3.5	Перекачування рицинової олії	—	—	—	—
4. Детоксикація рицинової макухи					
4.1	Грубе подрібнення	Грубо подрібнена експелерна макуха	Розпушувач макухи	—	—
4.2	Грубе подрібнення	Грубо подрібнена експелерна макуха	Однопарні рифлені вальці	—	—
4.3	Тонке подрібнення	Подрібнена рицинова експелерна макуха	П'ятивальцьовий верстат	Через чотири проходи	Здрібнювання повинне бути однорідним зі змістом проходу через одноміліметрове сито не менш 80 %
4.4	Волого-теплова детоксикація рицини	Макуха після волого-теплової детоксикації	Багаточанний тостер з нижнім охолоджувальним чаном	Зволоження у верхньому чані до вологості 24–26 %, температура макухи по чанах, °С: у верхньому 85–105 °С, у середніх 110–120 °С, при виході з останнього сушильного чану 135 °С, охолодження в нижньому чані до температури не більше 10 °С вище за	Температура макухи на виході з останнього чану тостера має перевищувати температуру навколишнього середовища не більше ніж на 10°С, вологість 7,5-8,5%.

№	Найменування операцій	Кінцевий продукт	Найменування устаткування	Параметри технологічних режимів	Очікувані якісні показники
				температуру навколишнього повітря. Тривалість перебування макухи в тостері-інактиваторі 80–85 хв.	

Висновки за розділом

1. Технологічна схема переробки насіння рицини є комплексним багатостадійним процесом, що передбачає ретельну механічну, термічну, вологу й повітряну обробку сировини з метою максимального вилучення олії при збереженні її якості. Ефективність процесу забезпечується завдяки послідовному виконанню операцій калібрування, шельмування, дроблення, інактивації ферментів, пропарювання, сушіння, попереднього та остаточного пресування, подрібнення макухи, а також організації систем очищення повітря та утилізації відходів. Дотримання регламентованих режимів на кожному етапі дозволяє досягати високого рівня продуктивності обладнання та якості кінцевої продукції.

2. Оптимізація технологічного режиму дворазового пресування насіння рицини з відділенням лущиння забезпечує високу ефективність вилучення олії та отримання кормової макухи з регламентованими показниками якості. Встановлено, що раціональні параметри обрушення, подрібнення, зволоження та теплової обробки м'ятки сприяють збереженню структури ядра, забезпечують рівномірне проникнення вологи та інактивацію ферментів. Застосування двоступеневого жарення та регламентованих параметрів роботи форпресу і експелера дозволяє досягти стабільної продуктивності (15 т/добу) та отримати макуху з вмістом олії не вище 6,0 %. Правильно організоване очищення олії, що включає фільтрацію за температурно-технологічними параметрами, забезпечує її високу якість без необхідності додаткової гідратації.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз існуючих технологій детоксикації насіння рицини та продуктів її переробки

Багато досліджень підтверджують, що шрот або макуха, які залишаються після отримання олії з насіння рицини методом пресування чи екстрагування, не придатні для використання як корм для сільськогосподарських тварин без попередньої обробки. Це зумовлено наявністю в них токсичних речовин, зокрема білка рицину, деяких глікопротеїдів, які є потужними білково-вуглеводними алергенами, а також алкалоїду рициніну. Водночас після проведення детоксикації, в результаті якої шкідливі сполуки видаляються, ці побічні продукти можна успішно використовувати у раціоні тварин.

За даними джерел, на експериментальних підприємствах розроблено метод детоксикації рицинової макухи та шроту із застосуванням пари, вапна та аміаку. Оптимальна інактивація токсинів досягалася через обробку паром протягом 1 год при тиску 0,7 кг/см², 6 % аміаком (45 хв при 80 °С) та 4 %-вим вапном протягом 15 хв при 100 °С. Технологічна схема цього процесу детоксикації рицинових відходів, що утворюються при отриманні олії з насіння рицини, наведена на рис. 2.1.

Однак, хоча більшість токсинів було знешкоджено, вміст деяких незамінних амінокислот зменшився, особливо після обробки вапном, що знизило поживну цінність кінцевого кормового продукту. Крім того, варто зазначити, що ця технологія з використанням аміаку та вапна потребує значних витрат на спеціалізоване обладнання та хімічні реагенти. Хімічна обробка рицинової макухи та шроту, передбачена цією технологією, вимагає застосування небезпечних хімічних речовин, що накладає додаткові вимоги до обладнання та супроводжується певними технологічними труднощами. Також, використання аміаку та вапна у технологічному процесі негативно впливає на санітарні умови роботи працівників та екологічний стан навколишнього середовища [18].



Рисунок 2.1 – Технологічна схема детоксикації рицинових макухи та шроту з використанням пари, вапна та аміаку

Інший метод детоксикації рицинової макухи передбачає її обробку в автоклаві під тиском 1,5–2,0 атм протягом 60–90 хв або застосування шестикратної кількості 10 %-ого розчину повареної солі протягом 6–10 год з подальшим видаленням цього розчину. Однак цей процес вимагає коштовного та енергоємного обладнання – автоклава, і обробка великих обсягів макухи в промислових масштабах є непридатною. Крім того, детоксикація за допомогою розчину повареної солі значно знижує поживну цінність кормового продукту, що веде до втрати 20 % білка при знешкодженні токсинів, а також вимагає складного та ресурсозатратного технологічного процесу [19].

Рицинова макуха та шрот є висококонцентрованими кормовими продуктами, але через наявність токсичних речовин у складі нежирової частини насіння рицини (рицину, алергену та алкалоїду рициніну) потребують знешкодження перед використанням як корму для худоби. Це здійснюється шляхом термічної обробки з додаванням вологи. Процес знешкодження полягає в обробці макухи та шроту водяною парою при перемішуванні.

Для знищення токсичних речовин рекомендують сильне прогрівання рицинової макухи або шроту у присутності додаткової вологи або їх тривале варіння. Важливо, щоб весь корм проходив через прогрів. Ці методи є більш технологічними порівняно з попередніми, оскільки не вимагають використання хімічних речовин у процесі детоксикації, що значно спрощує та здешевлює

технологію. Однак їх застосування передбачає додаткове зволоження макухи або шроту, що, за даними розробників, забезпечує рівномірне прогрівання.

Досліди, у яких вивчали ефективність застосування різноманітних методів детоксикації рицинової макухи, показали наступне: рицин інактивується повністю тільки при температурі не нижче 150 °С. При перевірці на токсичність макухи, яку піддавали термічній обробці (150 °С), явища аглютинації не відбувалося. Нагрівання при більш низьких температурах (100–120 °С) не забезпечувало детоксикацію рицину. При обробці рицинової макухи 10 %-им розчином хлористого натрію рицин також повністю не інактивується.

Тому тривають подальші дослідження та пошуки методів удосконалення процесу детоксикації антипоживних речовин, що містяться в шроті чи макусі, які утворюються при отриманні олії з різних олійних культур. Наприклад, метод водного екстрагування та фракціонування матеріалу з олійного насіння включає такі етапи [20, 21]:

- змішування матеріалу з олійного насіння з водним розчином, рН якого становить від 2 до 12 при концентрації 10–50 % (мас./об.), що дозволяє утворити суміш, що містить водний розчин із екстрагованим білком, дрібними фрагментами твердих фаз серцевини клітин і волокнистим матеріалом;
- розділення отриманої суміші шляхом фільтрації або просіювання для отримання фільтрату, що включає екстрагований білок і дрібні фрагменти твердих фаз, та твердого залишку, що містить волокна;
- обробка водного екстракту ензимом, збагаченим фітазою, з подальшим отриманням дефітинізованої фракції, збагаченої білком;
- осадження частини білка в отриманій екстрагованій фракції;
- обробка цієї екстрагованої фракції, що містить осаджений білок, для розділення на тверду фазу і рідину з отриманням дефітинізованої рідкої фракції, яка містить розчинні білки.

Однак цей метод водного екстрагування та фракціонування не відповідає вимогам, що ставляться до технології детоксикації в промислових умовах, оскільки

він передбачає використання великих обсягів води та дорогих ензимів, що робить цей метод непридатним для впровадження в умовах заводського виробництва.

Відома технологія за якою пропонується при приготуванні кормових концентратів використовувати шрот рицини після відповідної обробки.

Запропонована технологія міститься у тому, що шрот рицини обробляють 0,2 %-им розчином NaOH при масовому співвідношенні 1:8 у термостатній ємності при температурі 90 °С, за умов постійного перемішування протягом 30 хв, а потім екстракт при рН 10,5–11,5 і температурі 40 °С, асимілюють молочнокислими бактеріями родів *Streptococcus* і *Lactobacillus*, перемішують та поміщають у термостат при температурі 37 °С. Після проходження процесу зброджування продукт готовий до використання, або його піддають сушінню. Цей спосіб, за ствердженням розробників, дозволяє досягти повної детоксикації рицину та підвищити якість продукту за рахунок збагачення мікробним білком, біологічно-цінними речовинами, які синтезуються молочнокислими бактеріями – молочною кислотою, антибіотичними з'єднаннями та ін., а також сприяє здешевленню та спрощенню процесу отримання продукту, виключаючи такий коштовний етап, як автоклавування. Однак, обробка розчином NaOH при масовому співвідношенні 1:8 у термостатній ємності при температурі 90 °С, за умов постійного перемішування – це досить енергоємний та ресурсовитратний процес, який до того ж вимагає використання хімічного реагенту, що викликає додаткові витрати та небажані наслідки (погіршення санітарних умов, негативний вплив на технологічне обладнання та довкілля).

Аналогічна технологія отримання білкового препарату з токсичного шроту рицини передбачає подрібнення шроту рицини до розміру часток не більш 0,5 мм, введення 0,05–0,50 %-ого розчину лугу, з масовим співвідношенням сировини: екстрагент 1:3–1:11. При цьому суспензію перемішують протягом 10–60 хв. при температурі 40–100 °С. Потім суспензію центрифугують або віджимають, тверду фракцію вилучають, а до охолодженого до 37 °С екстракту вводять суміш молочнокислих бактерій. Проводять ферментацію у стаціонарних умовах при температурі 37 °С протягом 4,0–20,0 год. Після формування згустку проводять

осадження білку нагріванням при температурі 50–100 °С протягом 5–25 хв. Ця технологія отримання білкового препарату з токсичного шроту рицини пропонується розробниками до використання у промислових умовах.

Слід зазначити, що вищезгадана технологія включає в себе кілька етапів, які потребують значних енерго- та ресурсних витрат, а саме: додаткове подрібнення рицинового шроту, обробка лужним розчином, центрифугування суспензії для поділу на фракції, ферментація молочнокислими бактеріями та дворазове нагрівання до 100 °С. Усі ці етапи вимагають спеціалізованого обладнання та висококваліфікованого персоналу, що ускладнює впровадження цієї технології в промислових умовах і значно підвищує вартість кінцевого продукту.

Аналогічний підхід до вирішення проблеми детоксикації відходів виробництва рицинової олії передбачено в іншій технології, яка для усунення токсичної дії білка рицину та підвищення поживної цінності корму включає етап збагачення рицинового шроту дріжджовою біомасою. Цей процес передбачає розведення шроту водою, термічну обробку, а потім внесення дріжджової суспензії.

Ще одна технологія отримання кормового продукту з шроту рицини містить волого-теплову обробку шроту рицини вологістю 18–20 % (при температурі 85 ± 2 °С протягом 20–25 хв.), із наступною його обробкою реагентом (у якості реагенту використовують кристалічну кремнієву кислоту у кількості 5,0–10,0 % до маси шроту). Отриманий в результаті здійснення цього способу кормовий продукт є рициновим шротом, збагаченим кремнієм.

Використання дріжджової біомаси або кристалічної кремнієвої кислоти для збагачення корму з рицинового шроту не змінює основи процесу детоксикації – термічної обробки у присутності води, яка застосовується в обох методах для нейтралізації токсичної дії білка рицину. Технологічний етап збагачення вже детоксикованого рицинового шроту може бути включений або виключений з технологічної схеми, залежно від наявності відповідних компонентів для збагачення та необхідного обладнання.

Французькі вчені запропонували метод обробки рослинної макухи, який включає мацерацію сирої макухи у водному середовищі за участю мікроорганізмів, зокрема дріжджів *Geotrichum candidum*. Цей процес дозволяє відокремити токсини, що обмежують застосування макухи, та підвищити її поживну цінність. Винахідники вказують, що цей метод можна застосовувати для детоксикації макухи будь-яких рослинних видів.

Проте запропонована технологія викликає сумніви щодо її ефективності саме для інактивації рицину. Оскільки рицин є білком з високою лабільністю структури, його молекула має дві частини, з'єднані дисульфідним містком, що робить її нестійкою до впливу високих температур або лужних агентів. Тому обробка рицинового шроту мікроорганізмами у водному середовищі може не забезпечити повної детоксикації, що, враховуючи високу токсичність рицину, може призвести до отруєння тварин навіть за наявності мінімальної його кількості у кормі.

Американські вчені розробили метод, за яким насіння олійних культур та макухи, що містять значну кількість неденатурованого білка та 6 % води, подрібнюють у вологих умовах із застосуванням метанолу, етанолу, ацетону або їх суміші, що містить не більше 2 % води. Після цього тверду частину відокремлюють, а потім повторно екстрагують великою кількістю розчинника, отримуючи екстракт олії. Ця технологія потребує значних витрат на розчинники та спеціалізоване обладнання, що робить її непридатною для впровадження у виробництво [22, 23].

У Сполучених Штатах Америки розроблено технологічну схему детоксикації та вилучення білку з макухи ріпакового насіння водним сольовим розчином із наступним ізоелектричним осадом білку у екстракційному середовищі. Отриманий білок промивають та піддають сушінню із розпиленням. Висушена фракція білку має високий вміст азоту та не містить токсичних речовин. Макуха після екстракції практично не містить токсичних речовин та може застосовуватися у якості кормової добавки у раціонах сільськогосподарських тварин.

Однак, як вказувалося вище, застосування технології детоксикації водним сольовим розчином для знешкодження токсичних речовин рицинової макухи, не

достатньо ефективно, досить трудомістке та призводить до зниження поживної цінності отриманого корму.

У Німеччині розроблено технологію обробки олійного насіння та продуктів з нього після механічного кондиціонування у автоклаві. Оброблюваний матеріал завантажували крізь отвір у багатоярусний автоклав із стінками, що обігріваються, та днищем, піддавали його перемішуванню за допомогою лопатної мішалки, крізь лопаті якої до автоклаву вводилася пара, частина якої відводилася разом із токсинами. Для того, щоб отримані після обробки у автоклаві кормові добавки можна було б застосовувати без обмежень, потрібно ретельно дотримуватися режимів роботи автоклаву, а саме – температури, тиску, подавання дистильованої пари та термічної обробки. При обробці у автоклаві вилучаються отруйні речовини та гіркоти. Але, як вже відзначалося, процес детоксикації рицинової макухи у автоклаві потребує багато енергії й не виправдовує себе у промислових умовах, що пов'язане із великою кількістю оброблюваного матеріалу.

Технологію детоксикації продуктів з насіння олійних культур пропонують англійські науковці. Технологія здійснюється наступним чином: макуху обробляють органічним розчинником, який містить хоча б одну полярну групу та який змішаний із водним розчином електроліту. У якості розчинника застосовують бутиловий спирт, у якості електроліту – соляну кислоту.

Ця технологія потребує використання небезпечних та дорогих хімічних реагентів (соляної кислоти та бутилового спирту), які викликають корозію технологічного устаткування, негативно впливають на здоров'я працівників та стан довкілля. До того ж, використання в процесі детоксикації хімічних речовин обумовлює високу вартість цієї технології, що робить її впровадження у заводських умовах не доцільним.

2.2 Обґрунтування функціонально-технологічної схеми процесу детоксикації рицинової макухи на кормові цілі

Підсумовуючи результати аналізу існуючих методів детоксикації рицинової макухи для кормових цілей, можна визначити, що застосовувані технології можна

умовно поділити за типом впливу, що здійснюється. Основою всіх методів детоксикації є руйнування токсичних речовин під дією фізичних та хімічних факторів. Таким чином, основні технологічні підходи до детоксикації відходів, що утворюються після виділення олії з насіння рицини, включають [24, 25]:

- екстрагування токсинів (з використанням хімічних агентів);
- термічну обробку у присутності вологи;
- комбінований вплив фізичних та хімічних факторів.

Аналіз показав, що метод екстрагування та фракціонування матеріалу з відходів олійного насіння для детоксикації рицину є широко поширеним технологічним методом, що застосовують в багатьох країнах.

Так, пропонують застосовувати для знешкодження токсичних речовин рицинової макухи та шроту водний сольовий розчин; розчин NaOH при масовому співвідношенні 1:8; екстрагент з хімічних реагентів (метанолу, етанолу, ацетону або їхньої суміші), використовувати для екстрагування соляну кислоту та бутиловий спирт та ін.

Основні етапи екстрагування включають: підготовку сировини та екстрагента (очищення і подрібнення сировини, нагрівання розчинника); безпосередній контакт твердої і рідкої фаз у екстракційному апараті; розділення системи тверда фаза – розчин (відстоювання, фільтрування, центрифугування).

Промислові екстрагенти повинні характеризуватися високою вибірковістю, здатністю до легкої регенерації і бути економічно доступними. До таких екстрагентів відносять воду, етанол, бензин, бензол, ацетон, а також розчини кислот, лугів та солей (за винятком вартості).

За взаємним напрямком руху твердої фази і екстрагенту екстрактори підрозділяють на:

- прямоточні;
- протиточні.

За режимом роботи – на апарати:

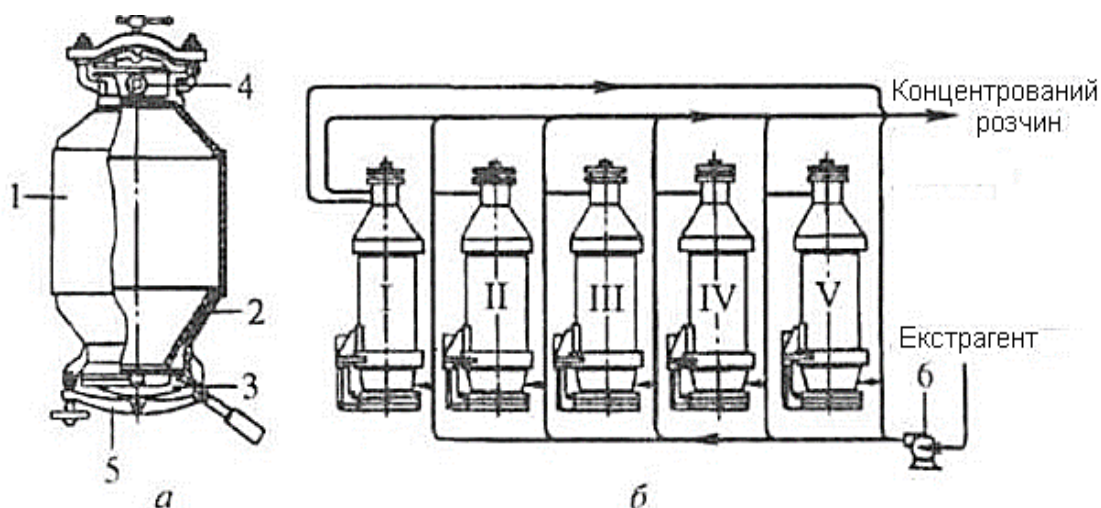
- періодичної дії;
- напівбезперервної дії;

– безперервної дії.

На рис. 2.2 представлені екстрактори періодичної дії.

Послідовне з'єднання 4–16 одиничних апаратів в батарею дозволяє перейти до напівбезперервної протivotокової схеми.

Завдяки замкнутій системі комунікацій вдається періодично відключати від циркуляційної системи один з апаратів, звільняти його від повністю виснаженого матеріалу і заповнювати свіжим. Далі цей апарат знову включають до системи циркуляції і подають в нього збагачений екстрагент, який пройшов через всі наступні апарати; потім відключають наступний апарат, у який до цього поступав чистий екстрагент і так далі. Із збільшенням числа апаратів процес наближається до безперервного.



1 – корпус; 2 – днище (грати); 3 – відкидне днище; 4 – штуцер для введення свіжого екстрагенту; 5 – штуцер для відведення концентрованого розчину;
6 – насос. б – батарея апаратів (I–V); а – одиничний апарат

Рисунок 2.2 – Екстрактори періодичної дії

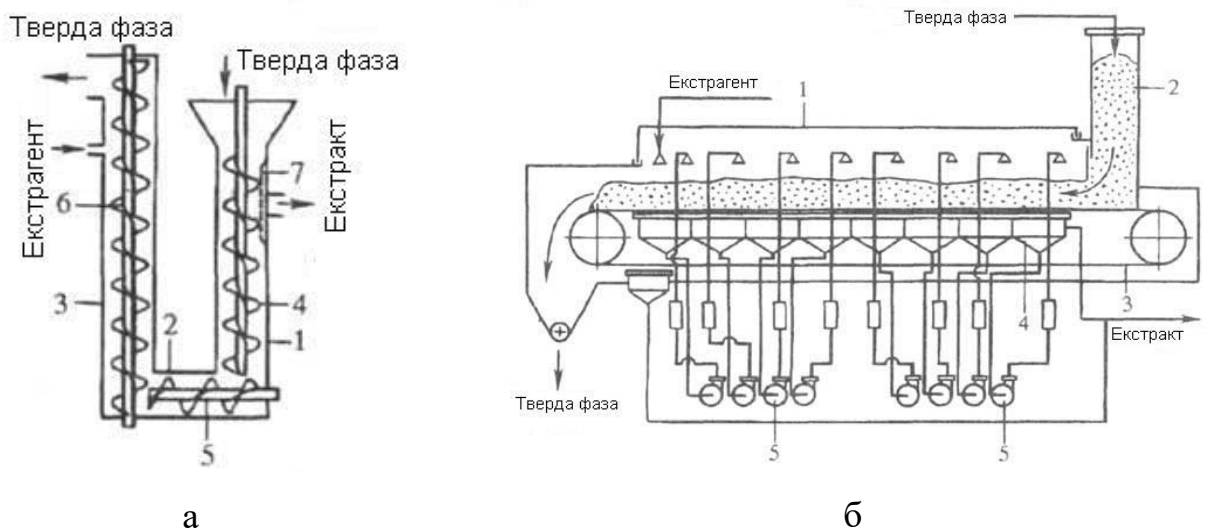
Головними недоліками описаних екстракторів, які продовжують застосовувати у хімічних виробництвах, є:

- великі витрати ручної праці при їх експлуатації;
- значні втрати речовини, що екстрагується, при вивантаженні;

- висока металоємність;
- трудність регулювання режиму роботи.

Екстрактори періодичної дії використовують у виробництві невеликих партій фармацевтичних препаратів, настоїв та ін.

Екстрактори напівбезперервної дії (батарея апаратів) малоефективні, громіздкі і складні в обслуговуванні. На рис. 2.3 представлені екстрактори безперервної дії.



1, 2, 3 – завантажувальна,
горизонтальна і екстракційна колони;
4–6 – шнеки; 7 – розподільне сито

1 – корпус; 2 – бункер;
3 – стрічковий транспортер;
4 – воронка; 5 – насоси

Рисунок 2.3 – Шнековий екстрактор безперервної дії (а) і стрічковий екстрактор безперервної дії (б)

Під час роботи екстракторів безперервної дії для рівномірного розподілу екстрагенту по матеріалу над його шаром розміщені розпилювачі. Пройшовши через шар матеріалу, розчин поступає у воронку, звідки насосом подається в суміжну зону, котра розташована в напрямі, протилежному руху стрічки.

Поширені також роторні апарати карусельного типу, що реалізують той же принцип дії. Переваги екстракторів безперервної дії, які застосовують у багатотоннажних виробництвах, наступні:

- більший коефіцієнт масовіддачі від твердих частинок до екстрагенту;
- повне виключення ручної праці при обслуговуванні;
- можливість створення екстрактів великої одиничної потужності та автоматизації процесу.

Попри застосування детоксикації рицинової макухи та використання екстракторів безперервної дії, сам процес екстрагування залишається енерго- та ресурсозатратним. Він потребує введення хімічних реагентів, що зумовлює додаткові витрати, погіршує умови праці, негативно впливає на обладнання та може шкодити довкіллю. Крім того, реалізація такого процесу вимагає використання дорогого та спеціалізованого обладнання, що ускладнює його економічне впровадження у промислове виробництво. Окрім цього, обробка хімічними розчинами призводить до втрати до 20 % білкових речовин, що суттєво знижує поживну цінність отриманого корму.

Тому, при обґрунтуванні та розробці функціонально-технологічної схеми процесу детоксикації рицинової макухи на кормові цілі, було прийнято рішення не включати до технологічної схеми детоксикації відходів виробництва рицинової олії на міні-заводах, такий технологічний прийом, як екстрагування.

Багато дослідників рекомендують використовувати вологотеплову обробку як ефективний метод нейтралізації токсичних сполук, що містяться у рициновій макусі та шроті (рис. 2.4). Так, пропонується застосовувати для детоксикації рицину сильне прогрівання рицинової макухи або шроту в присутності додаткової вологи або їх тривале проварювання. Необхідно тільки, щоб прогрівалася уся маса.

Термічну детоксикацію рицинової макухи часто здійснюють за допомогою автоклавів. Проте використання цього енергоємного та дорогого обладнання в промислових масштабах, особливо для обробки великих обсягів макухи, є малоефективним і недоцільним для міні-заводів, оскільки така технологія не відповідає вимогам економічної доцільності. Тому, при обґрунтуванні та розробці

функціонально-технологічної схеми процесу детоксикації рицинової макухи на кормові цілі, було прийнято рішення не включати до технологічної схеми детоксикації відходів виробництва рицинової олії на міні-заводах, такий технологічний прийом, як автоклування.

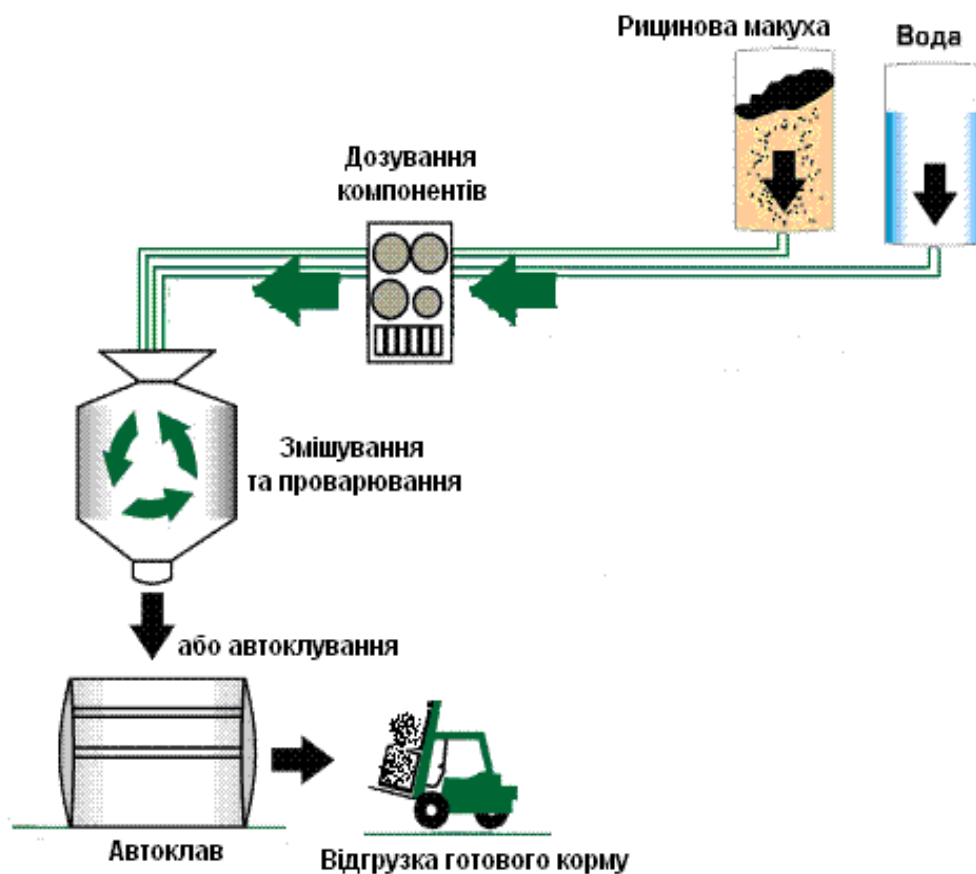


Рисунок 2.4 – Схема детоксикації рицинової макухи шляхом термічної обробки (проварюванням або автоклавованням)

Аналізуючи ефективність процесу детоксикації відходів виробництва рицинової олії (макухи або шроту) методом термічної обробки, базуючись на інформаційних даних, визначено, що рицин інактивується повністю при температурі не нижче 150 °С. При перевірці на токсичність макухи, яку піддавали термічній обробці (150 °С), явища гемаглютинації не відбувалося. Нагрівання при більш низьких температурах (100–120 °С) не забезпечувало детоксикацію рицину.

Тому, при обґрунтуванні та розробці функціонально-технологічної схеми процесу детоксикації рицинової макухи на кормові цілі, враховували той факт, що

застосування термічних методів детоксикації рицинової макухи при температурі не нижче 150 °С – це ефективний та досить простий у технологічному відношенні шлях, який дозволяє без застосування дорогого спеціального устаткування і небезпечних хімічних реагентів досягти бажаних результатів. Саме термічну обробку планується застосовувати, як основний технологічний прийом при проведенні процесу детоксикації рицинової макухи.

Включення в розроблювану функціонально-технологічну схему процесу детоксикації рицинової макухи на кормові цілі на міні-заводі, технології, яка передбачає в процесі детоксикації токсичних речовин комбіновану дію фізичних та хімічних факторів на відходи виробництва рицинової олії (рис. 2.5), як це пропонують деякі фахівці, не є доцільним. Це пов'язане із тим, що термічна обробка, за умови дотримання температурного режиму та прогрівання всієї маси макухи, за інформаційними джерелами забезпечує повну детоксикацію, що підтверджується результатами реакції гемаглютинації.



Рисунок 2.5 – Технологічна схема детоксикації рицинової макухи з використанням термічної та хімічної обробки

Хімічна обробка, що використовується в більшості запропонованих комбінованих технологій, пов'язана з екстракцією за допомогою хімічних речовин, що призводить до збільшення витрат на реагенти, великих кількостей розчинників і потребує спеціалізованого дорогого обладнання. Ускладнення технологічного

процесу робить використання комбінованої обробки у промислових умовах економічно не вигідним. Крім того, як уже зазначалося, застосування хімічних реагентів для детоксикації спричиняє втрати до 20 % цінного білка, що значно знижує поживну цінність готового корму, погіршує умови праці, справляє негативний вплив на обладнання та чинить шкоду навколишньому середовищу. Таким чином, з метою впровадження на міні-заводі з виробництва рицинової олії технології детоксикації відходів виробництва (макухи), за базову визначена наступна функціонально-технологічна схема процесу детоксикації рицинової макухи на кормові цілі (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Основна функціонально-технологічна схема процесу детоксикації рицинової макухи на кормові цілі

Подальше використання різних збагачувачів для коригування вітамінного та мікроелементного складу корму з рицинового шроту, як це пропонують багато авторів, не змінює основної суті процесу детоксикації – термічної обробки за наявності води. Таким чином, етап збагачення вже детоксикованого корму може бути доданий до основної технологічної схеми без змін в її базовій технології.

Висновки за розділом

1. Аналіз сучасних технологій детоксикації рицинових шроту та макухи свідчить про значну кількість підходів до знешкодження токсичних речовин,

зокрема білка рицину, алергенів та рициніну. Більшість з них базуються на термічній обробці з використанням пари, вологи або підвищеного тиску, а також комбінуються з хімічною або мікробіологічною обробкою. Попри ефективність деяких методів щодо інактивації токсинів, більшість із них мають суттєві недоліки – втрати поживних речовин, високу енерго- та ресурсоемність, потребу в дорогому обладнанні або використанні небезпечних хімічних реагентів. Перспективними вважають технології, що базуються на волого-тепловій обробці без хімічних реагентів, а також способи, які передбачають біологічне збагачення детоксикованого продукту, проте остаточне рішення щодо впровадження конкретної технології повинно враховувати баланс між ефективністю детоксикації, збереженням поживної цінності, економічністю та безпечністю для довкілля.

2. На основі проведеного аналізу встановлено, що екстрагування і комбіновані методи детоксикації рицинової макухи, попри свою поширеність, є економічно недоцільними для впровадження у виробничих умовах міні-заводу через високу ресурсоемність, потребу в дорогому устаткуванні, втрати білку та екологічні ризики. Ефективним і технологічно доцільним методом визнано термічну обробку при температурі не нижче 150 °С у присутності вологи, яка забезпечує повну детоксикацію токсичних речовин без застосування хімічних реагентів. Саме цей метод обрано як базовий для побудови функціонально-технологічної схеми процесу детоксикації рицинової макухи на кормові цілі.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Технологічний розрахунок

На підставі проведеного аналізу вітчизняного й закордонного досвіду з переробки насіння рицини на олію і кормову макуху розроблено нормативні положення до проєктування та впровадження малотоннажних підприємств з глибокої переробки рицини і технологічний регламент для малотоннажних підприємств з перероблення рицини.

Характеристика малотоннажного підприємства з глибокої переробки рицини на олію та кормову макуху. Склад підприємства:

- цех підготовки насіння рицини до зберігання й переробки: відділення, сушіння, очищення й калібрування насіння, обмолот коробочок;
- цех з виробництва рицинової олії: обрушення насіння і очищення від вільної оболонки, волого-теплова обробка й пресування, механічне очищення олії;
- цех з детоксикації шкідливих речовин у макусі з насіння рицини;
- склад насіння рицини;
- склад рицинової олії;
- склад знешкодженої кормової макухи;
- котельня;
- трансформаторна підстанція;
- пожежні резервуари.

У табл. 3.1 надано технічну характеристику малотоннажних підприємств з переробки насіння рицини на рицинову олію та кормову макуху.

На рис. 3.1 надано операційну схему технології переробки насіння рицини дворазовим пресуванням.

Запропонована структура підприємства дозволяє організувати замкнутий виробничий цикл з мінімальними втратами сировини та енергоресурсів.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика малотоннажних підприємств з переробки насіння рицини на рицинову олію і кормову макуху

Найменування показників	Чисельні значення		
1. Добова продуктивність, т/добу			
По вихідній сировині (насінням рицини)	15	30	45
Олія технічна рицинова, в т.ч.:	7,58	15,16	22,74
Олія форпресова	6,9	13,8	20,7
Олія експелерна	0,68	1,36	2,04
Макуха кормова знешкоджена	3,7	7,4	11,1
Лушпиння	2,5	5	7,5
2. Річна продуктивність, т/рік			
По вихідній сировині (насінням рицини)	4500	9000	13500
Олія технічна рицинова, в т.ч.:	2274	4548	6822
Олія форпресова	2070	4140	6210
Олія експелерна	204	408	612
Макуха кормова знешкоджена	1110	2220	3330
Лушпиння	750	1500	2250
3. Технічні показники підприємства			
Встановлена потужність устаткування, кВт	370	750	1110
Витрата технологічної пари, кг/год	400	800	1200
Витрата технологічної води, м ³ /добу	6,0	12,0	18,0
4. Загальна характеристика заводу			
Число робочих днів у році	300	300	300
Число днів у році на виконання капітального ремонту	60	60	60
Число змін у добу	3	3	3
Число працюючих, чол.	15	25	32
5. Технічна характеристика котельні			
Найменування котлів	Е-1/ 9-1		
Кількість котлів	1	1	2
Тиск насиченої пари, МПа	0,78	0,78	0,78
Паропродуктивність, т/год	0,4	0,8	1,2
Вид палива	Оболонка рицини		
Температура води для опалення, °С	70–95	70–95	70–95
Температура води для гарячого водопостачання, °С	60	60	60
6. Технічна характеристика складу насіння рицини			
Кількість складів	1	2	3
Місткість, т	2000	4000	6000
Установлена потужність технологічного устаткування, кВт	11,5	23	34,5
Спосіб зберігання насіння	На підлозі, з каналами й механізмами активного вентилявання		
7. Технічна характеристика складу олії			
Кількість резервуарів, шт.	5	10	15
Місткість резервуара, м ³	16	16	16
Місткість складу, м ³	80	160	240
Установлена потужність, кВт	2,2	4,4	6,6
8. Технічна характеристика складу макухи			

Найменування показників	Чисельні значення		
Місткість, м ³	350	700	1050
Спосіб зберігання	На підлозі		
Установлена потужність устаткування, кВт	8,8	17,6	26,4
9. Технічна характеристика підстанції			
Потужність, кВт	400	800	1200
Опір контурного заземлення, не більше, Ом	4	4	4
10. Технічна характеристика пожежрезервуарів			
Ємність пожежрезервуару, м ³	150	150	150
Кількість пожежрезервуарів, шт	2	4	6
Конструкція	Збірно-монолітна залізобетонна, незаглиблена		

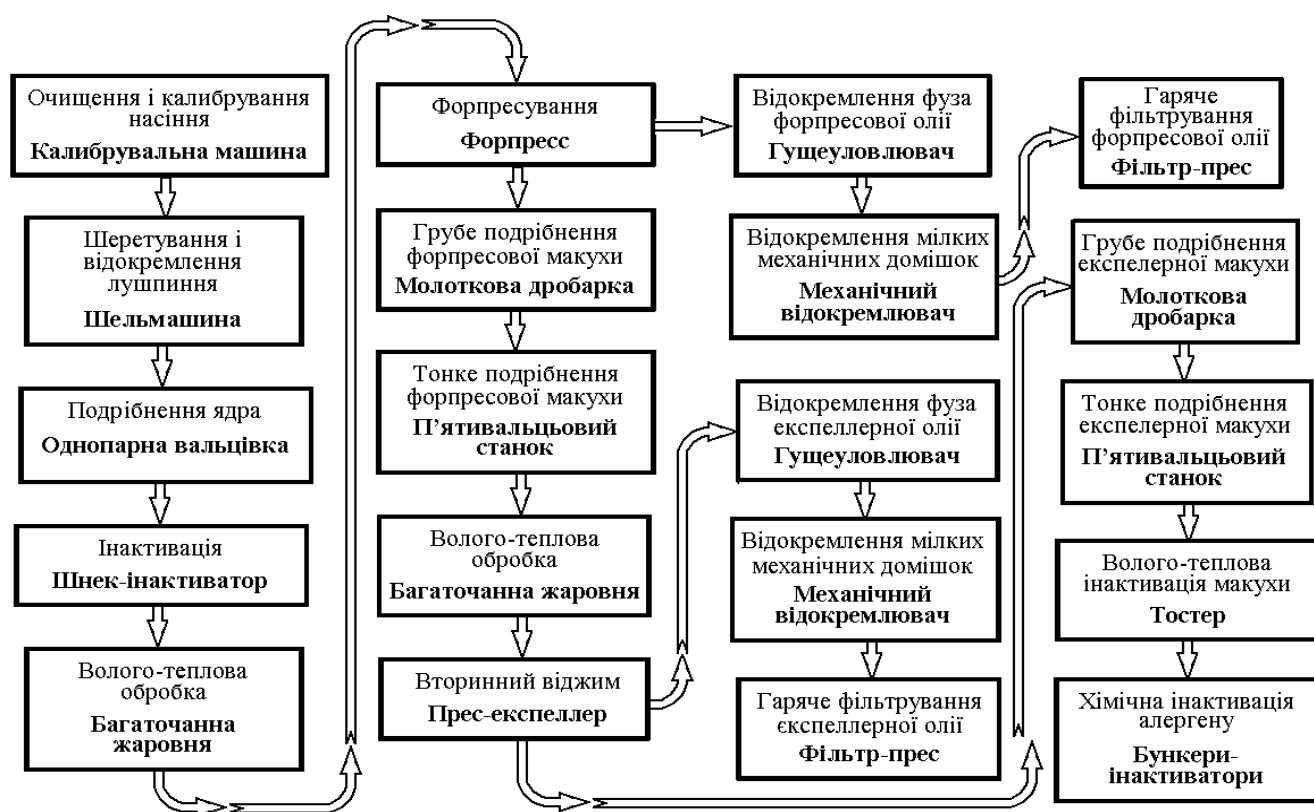


Рисунок 3.1 – Операційна схема технології переробки насіння рицини дворазовим пресуванням

3.2 Характеристика вихідної сировини і продукції, що виготовляється

Характеристика вихідної сировини. При прийманні насіння рицини встановлюються заготівельні кондиції – базисні й обмежувальні. Вимоги до якості, яким повинно відповідати насіння, називають базисними кондиціями. Вони

використовуються для розрахунків при здаванні насіння. Стосовно до базисних кондицій встановлені закупівельні та здавальні ціни. Насіння рицини, що відповідає кондиціям, оплачується за встановленою ціною за всю фізичну масу партії.

Невідповідність якості насіння базисним кондиціям не має бути на перешкоді для прийому; при цьому вона повинна бути не гірше норм якості, передбачених так званими обмежувальними кондиціями.

Насіння рицини по якості повинно відповідати вимогам ДСТУ 14944 «Насіння рицини (промислова сировина). Вимоги щодо постачання». Стандарт поширюється на обмолочене насіння рицини.

На насіння рицини обмолочене, у коробочках і третинках і на суміш їх з обмолоченим насінням встановлені наступні базисні кондиції: за вологістю – 9 %, за сміттєвими домішками (включаючи плодові оболонки на насінні) – 2 % і по олійній домішці – 4 %.

На насіння рицини встановлені наступні обмежувальні кондиції: по вологості насіння обмолоченого – 20 %; у коробочках і третинках або в суміші з обмолоченими – 30 %; по сміттєвій домішці (без плодових оболонок) – 10 %, олійної домішці – 20 %.

Насіння рицини із плісняво-затхлим запахом або таке, що містить більше 15 % насіння зіпсованого самозігріванням, сушінням (плісняве та таке, що прогнило, підсмажене зі зміненим кольором ядра від ясно-коричневого до чорного), а також проросле (порізно або в сумі), вважають недоброякісним (дефектним).

Вміст пестицидів – не більше припустимих рівнів, затверджених МОЗ.

Опис продукції, що виготовляється. Вимоги до якості рицинової технічної олії згідно з ДСТУ 6757-73. Властивості кормової рицинової макухи відповідно до ТУ 0336898-01-92 (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Опис характеристик рицинового шроту кормового

№	Найменування показників	1-й сорт	2-й сорт
1	Колір	Сіро-коричневий	Бурий
2	Запах	Властивий рициновій макусі, без стороннього запаху (затхлості, цвілі, горілості тощо)	
3	Волога й летучі речовини, %	7,0–10,0	7,0–10,0
4	Сирий жир (на абсолютно суху речовину), %	6,5–7,5	6,5–7,5
5	Сирий протеїн (на абсолютно суху речовину), %	48,0	420,0
6	Сира клітковина (на абсолютно суху речовину), %	32,0	39,0
7	Зола, нерозчинна в 10 %-й соляній кислоті (на абсолютно суху речовину), %	1,6	2,2
8	Сторонні домішки (камінчики, скло, земля)	не допускаються	
9	Металодомішки, %	0,02	0,02
	Частки розміром до 2 мм (за найбільшим лінійним виміром), не більше	0,002	0,002
	Частки розміром більше 2 мм	не допускаються	
	Частки з гострими ріжучими краями	не допускаються	
10	Зараженість комірними шкідниками	не допускаються	
11	Зміст хлорорганічних ядохімікатів на 1 кг шроту, мг		
	Гексахлорану, не більше ДДТ, не більше	сліди сліди	1,1 0,6
12	Реакція на рицин	негативна	

3.3 Розрахунок основних показників

Норми споживання сировини, води, допоміжних матеріалів, вихід проміжних і кінцевих продуктів та відходів під час обробки насіння рицини.

У табл. 3.3 надано вихідні дані для визначення очікуваних виходів олії, макухи й відходів виробництва.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для розрахунку

Найменування параметрів	Позначення	%
Олійність насіння при вихідній фактичній вологості	M_0	55,0
Вологість насіння при вихідній фактичній засміченості	B_0	7,0
Вміст мінеральних та органічних домішок в насінні до очищення	C_0	3,0
Вміст лузги в чистому насінні	L_1	22,0
Вміст ядра в чистому насінні	Y_1	78

Найменування параметрів	Позначення	%
Вміст мінеральних та органічних домішок в насінні після очищення	C_1	0,6
Вологість домішок (дорівнює вологості насіння)	B_1	7,0
Винос ядра в лушпиння	$Я_2$	0,4
Вміст лушпиння в ядрі	$Л_2$	8,0
Вологість лушпиння, що відходить	B_2	10,5
Олійність лушпиння, що відходить (разом з виносом)	M_1	2,0
Вміст домішок в лушпинні	C_3	1,0
Олійність форпресової макухи	M_2	20,0
Вологість форпресової макухи	B_4	6,5
Олійність експелерної макухи	M_7	6,0
Вологість експелерної макухи	B_7	4,5
Вміст протеїну в чистому насінні	B_1	19,5
Вміст протеїну в ядрі насіння	B_2	26,5
Вміст протеїну в насінневій оболонці	B_3	7,0
Вміст клітковини в чистому насінні	K_1	20,5
Вміст клітковини в ядрі насіння	K_2	0,35
Вміст клітковини в насінневій оболонці	K_3	67,4
Вміст мінеральних речовин в очищеному насінні	$З_1$	3,0
Вміст мінеральних речовин у ядрі насіння	$З_2$	2,6

Розрахунок основних показників:

1. Знімання мінеральних та органічних домішок

$$C_2 = \frac{100 \cdot (C_0 - C_1)}{100 - C_1} = \frac{100 \cdot (3 - 0,6)}{100 - 0,6} = 2,41\%$$

2. Вологість ядра в насінні

$$B_3 = B_0 - 1,2 = 7,0 - 1,2 = 5,8\%$$

3. Вихід лушпиння без урахування втрат вологи у виробництві

$$Л_4 = \frac{100 \cdot (Л_1 - Л_2) + Л_2 \cdot C_2}{100 - (Л_2 + Я_2 + C_3)} = \frac{100 \cdot (22 - 8,0) + 8 \cdot 2,41}{100 - (8,0 + 0,4 + 1,0)} = 15,66\%$$

4. Вологість лушпиння в насінні

$$B_8 = \frac{100 \cdot B_0 - Я_1 \cdot B_3}{Л_1} = \frac{100 \cdot 7,0 - 78,0 \cdot 5,8}{22,0} = 11,25\%$$

5. Вихід лушпиння з урахуванням втрат вологи

$$Л_5 = Л_4 \cdot \frac{100 - B_8}{100 - B_2} = 15,66 \cdot \frac{100 - 11,25}{100 - 10,5} = 15,53\%$$

6. Вихід форпресової макухи

$$\begin{aligned} Ж_1 &= \frac{10000 - 100 \cdot (M_0 + B_0 + Л_5 + C_2) + Л_5 \cdot (M_1 + B_2) + C_2 \cdot B_1}{100 - (M_2 + B_4)} = \\ &= \frac{10000 - 100 \cdot (55,0 + 7,0 + 15,53 + 2,41) + 15,53 \cdot (2,0 + 10,5) + 2,41 \cdot 7,0}{100 - (20 + 6,5)} = 30,16\% \end{aligned}$$

7. Вихід експелерної макухи

$$\begin{aligned} Ж_2 &= \frac{10000 - 100 \cdot (M_0 + B_0 + Л_5 + C_2) + Л_5 \cdot (M_1 + B_2) + C_2 \cdot B_1}{100 - (M_7 + B_7)} = \\ &= \frac{10000 - 100 \cdot (55,0 + 7,0 + 15,53 + 2,41) + 15,53 \cdot (2,0 + 10,5) + 2,41 \cdot 7,0}{100 - (6,0 + 4,5)} = 24,77\% \end{aligned}$$

8. Залишок олії у форпресовій макусі

$$M_6 = \frac{Ж_1 \cdot M_2}{100} = \frac{30,5 \cdot 20,0}{100} = 6,03\%$$

9. Втрати олії

$$\text{У макусі: } \Pi_1 = \frac{Ж_2 \cdot M_7}{100} = \frac{24,7 \cdot 6,0}{100} = 1,49\%$$

$$\text{У лушпинні: } \Pi_2 = \frac{L_5 \cdot M}{100} = \frac{15,53 \cdot 2,0}{100} = 0,31\%$$

Сумарні втрати олії:

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 = 1,49 + 0,31 = 1,8\%$$

10. Сумарний вихід олії

$$P_1 = M_0 - (\Pi_1 + \Pi_2) = 55,0 - (1,49 + 0,31) = 53,2 \%$$

11. Вихід форпресової олії

$$P_2 = M_0 - (M_6 + \Pi_2) = 55,0 - (6,03 + 0,31) = 48,66 \%$$

12. Вихід експелерної олії

$$P_4 = P_1 - P_2 = 53,2 - 48,66 = 4,56 \%$$

13. Втрати вологи

$$\begin{aligned} \Pi_5 &= B_0 - \frac{Ж_2 \cdot B_7 + L_5 \cdot B_2 + C_2 \cdot B_1}{100} = \\ &= 7,0 - \frac{24,77 \cdot 4,5 + 15,53 \cdot 10,5 + 2,41 \cdot 7,0}{100} = 4,09\% \end{aligned}$$

Таблиця 3.4 – Баланс сировини і олії

Показник	Значення
<i>Баланс сировини, (%)</i>	
Вихід форпресової олії (P_2)	48,66
Вихід експелерної олії (P_4)	4,54

Показник	Значення
Вихід макухи (J_2)	24,77
Вихід лушпиння (L_5)	15,53
Знімання мінеральної та органічної домішок (C_2)	2,41
Втрати вологи (Π_5)	4,09
Разом:	100,00
<i>Баланс олії (%)</i>	
Вихід форпресової олії (P_2)	48,66
Вихід експелерної олії (P_4)	4,54
Втрати олії	
у макусі (Π_1)	1,49
у лушпинні (Π_2)	0,31
Разом:	55,00

Висновки за розділом

1. На підставі проведеного технологічного розрахунку встановлено, що створення малотоннажного підприємства з глибокої переробки насіння рицини дозволяє забезпечити ефективне отримання технічної рицинової олії та знешкодженої кормової макухи з високими показниками якості, відповідаючи сучасним вимогам безпечності, енергоефективності та екологічної доцільності. Запропонована структура виробництва забезпечує замкнутий цикл переробки з оптимальним використанням сировини та мінімальними техногенними навантаженнями на навколишнє середовище.

2. Якість вихідної сировини – насіння рицини – відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності та безпеки технологічного процесу, тому встановлено чіткі базисні та обмежувальні кондиції відповідно до вимог ДСТУ 14944. Дотримання цих стандартів гарантує отримання високоякісної продукції – рицинової технічної олії за ДСТУ 6757-73 і кормової макухи згідно з ТУ 0336898-01–92. Зокрема, кормова макуха характеризується високим вмістом сирого протеїну (до 45 %) і низьким вмістом небажаних домішок, що підтверджує доцільність її використання як білкової добавки в раціонах тварин, за умови дотримання норм детоксикації від токсичних сполук рицину.

3. Розрахунок основних показників переробки насіння рицини засвідчує ефективність технологічного процесу з одержання технічної рицинової олії та кормової макухи. При загальній олійності насіння 55 %, сумарний вихід олії становить 53,2 % (форпресової – 48,66 %, експелерної – 4,54 %), а втрати олії не перевищують 1,8 % (1,49 % – у макусі, 0,31 % – у лушпинні), що свідчить про високу ефективність віджиму. Баланс сировини також свідчить про раціональне використання компонентів: на макуху припадає 24,77 %, на лушпиння – 15,53 %, а втрати вологи й домішок становлять лише 6,5 %. Отримані результати підтверджують доцільність обраної технології з позиції ресурсоощадності та екологічної безпеки.

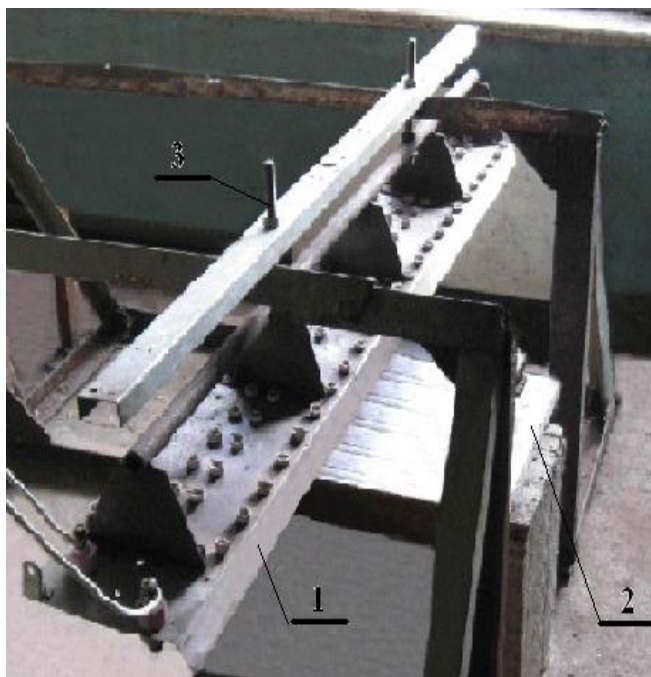
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

4.1 Методика досліджень детоксикації насіння рицини інфрачервоним випромінюванням

Доведено, що одним з ефективних способів знешкодження токсичних сполук у насінні рицини є термічна обробка за допомогою інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, яке має довжину хвилі від 0,74 до 2000 мкм. У ході такого опромінення відбувається інактивація токсичних речовин, що дозволяє уникнути додаткових витрат на подальшу обробку макухи. Основний принцип методу полягає у зміні просторової структури білкових молекул внаслідок інтенсивного нагрівання. ІЧ-випромінювання викликає резонансні коливання молекул, що супроводжується виділенням тепла, підвищенням тиску і швидким випаровуванням вологи. Це, в свою чергу, спричиняє денатурацію білків, включаючи токсичний глобулін – рицин, що забезпечує ефект детоксикації.

Визначено ключові технологічні параметри процесу детоксикації насіння рицини за умов обробки інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням: тривалість впливу, відстань до джерела ІЧ-випромінювання та температура насіння під час обробки. Останній показник є похідним від перших двох, що дає змогу керувати режимами обробки. Для проведення досліджень було розроблено експериментальний стенд (рис. 4.1), який забезпечує опромінення насіння рицини ІЧ-випромінюванням у діапазоні хвиль 1,8–3,4 мкм, здатним проникати на глибину 2–3 мм і нагрівати насіння зсередини.

Такий режим обробки дозволяє досягти рівномірного прогрівання внутрішньої частини насіння, що забезпечує ефективну інактивацію токсичних сполук без втрати поживної цінності продукту. Застосування ІЧ-випромінювання є перспективним напрямом для малотоннажного виробництва, оскільки процес не потребує складного устаткування та може бути легко автоматизований.



а



б

1 – джерело інфрачервоного випромінювання; 2 – платформа для розміщення матеріалу, що обробляється; 3 – гвинти для регулювання положення

Рисунок 4.1 – Загальний вигляд експериментальної установки для проведення досліджень (а) і підкладки з обробленим насінням рицини (б)

4.2 Результати досліджень детоксикації насіння рицини інфрачервоним випромінюванням

На рис. 4.2 представлений матричний графік кореляційних залежностей параметрів обробки насіння рицини ІЧ-випромінюванням.

На рис. 4.3 наведено загальний вигляд насіння рицини після термічної обробки інфрачервоним випромінюванням.

На рис. 4.4 зображено зразки, які свідчать про успішне проведення процесу детоксикації (рицин не виявлено). Після реакції аглютинації рідина в пробірках набула рівномірного рожево-каламутного вигляду, а при струшуванні спостерігався хвилеподібний рух осаду без утворення червоних згустків.

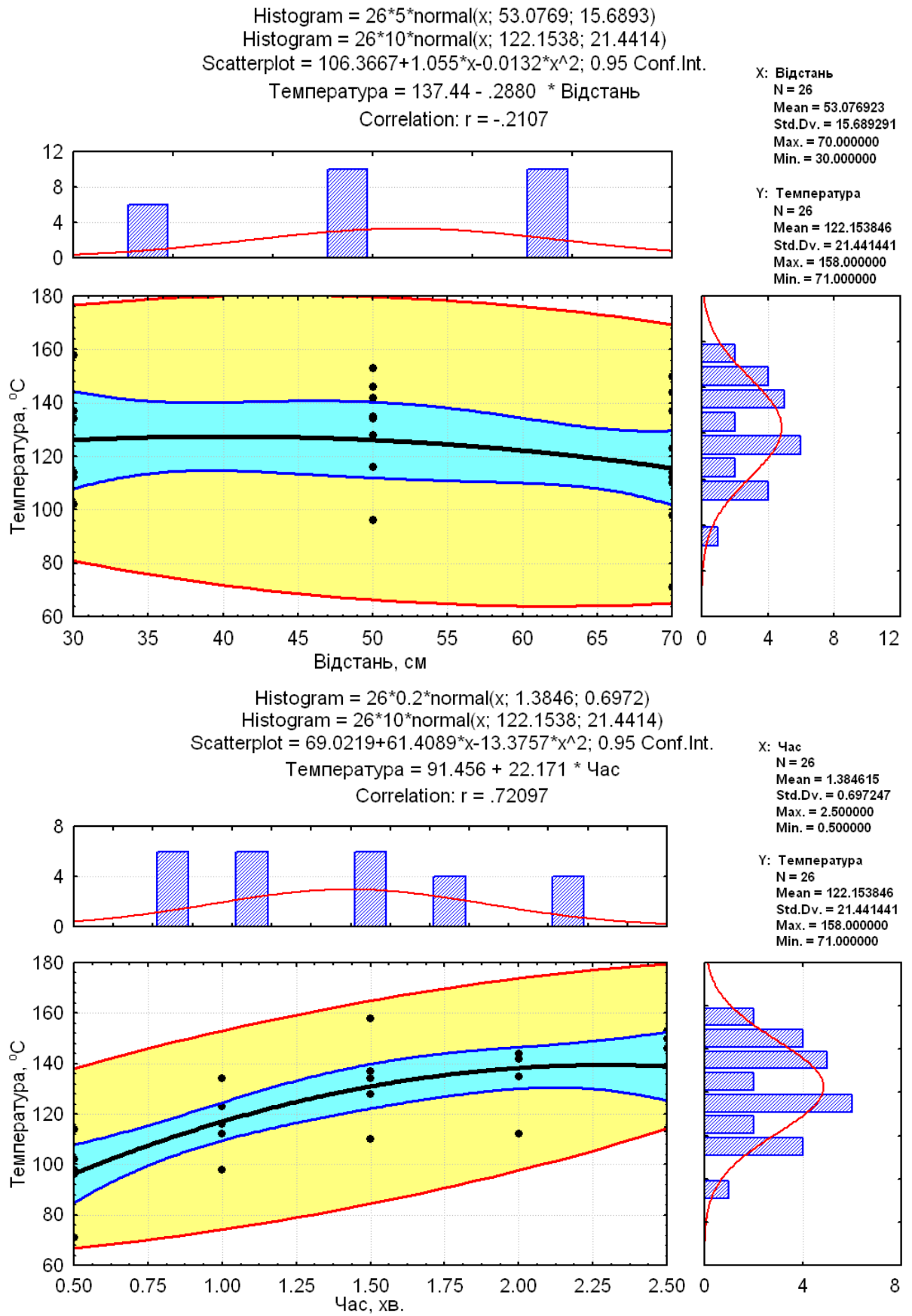


Рисунок 4.2 – Матричний графік кореляційних залежностей параметрів обробки насіння рицини ГЧ-випромінюванням



Рисунок 4.3 – Загальний вигляд насіння рицини після термічної обробки ІЧ-випромінюванням: обрушеного (а); не обрушеного (б)



Рисунок 4.4 – Загальний вигляд проб, які за результатами реакції гемаглютинації показали відсутність рицину

На рис. 4.5 представлено характерний зовнішній вигляд зразків, що містять залишки рицину: у зразках із незначною кількістю токсину рідина виглядає помітно прозорішою, ніж контрольна, у ній присутні червоні грудки, хоча вони менш виразні, а також помітна рожевувата каламуть, що здійснює хвилеподібні коливання під час струшування пробірки. У зразках із великою кількістю рицину

рідина залишається прозорою, але в ній чітко видно великі пластівці каламуті, що вільно плавають. При цьому каламутна фаза не демонструє хвилеподібного руху під час струшування. Вказані зразки обробляли за різними технологічними режимами, однак результати реакції гемаглютинації свідчать про відсутність ефективної детоксикації.

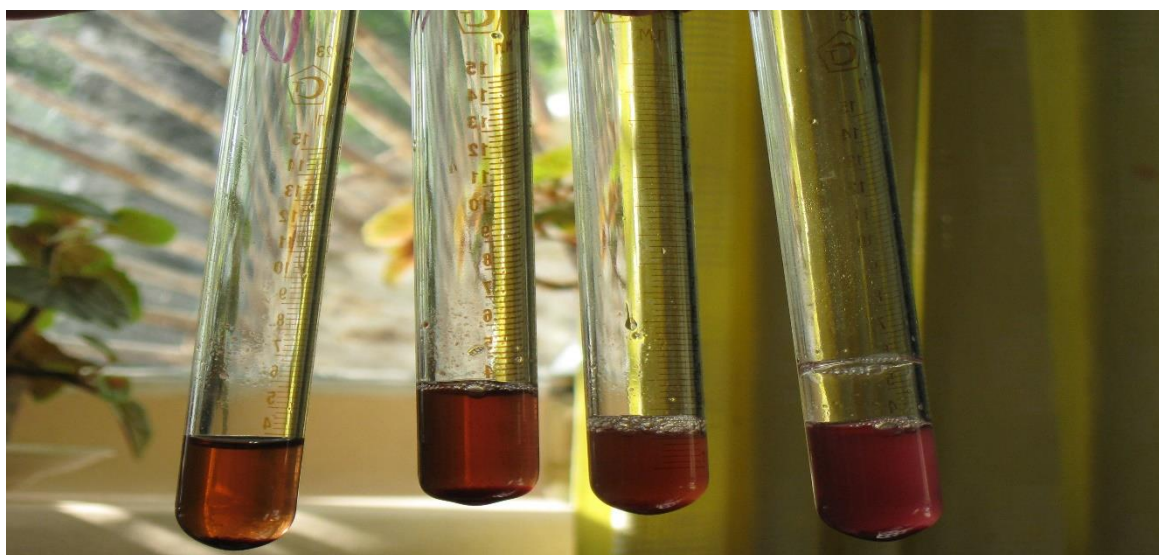


Рисунок 4.5 – Загальний вигляд проб, які за результатами реакції гемаглютинації показали велику кількість і наявність слідів рицину

Установлено, що для ефективної детоксикації токсичних сполук у насінні рицини за допомогою мікронізації – тобто термічної обробки інфрачервоним випромінюванням – оптимальними є такі технологічні параметри:

- оптимальна відстань від джерела ІЧ-випромінювання до оброблюваного насіння, що забезпечує повне усунення рицину, становить 70 мм для обрушеного насіння та 50 мм для необрушеного;

- безпечний температурний режим, який гарантує повну детоксикацію без погіршення кормових властивостей макухи, становить 137 °С для обрушеного насіння та 146 °С для необрушеного;

- час перебування насіння в зоні інфрачервоного опромінення – 2,5 хв для необрушеного насіння та 1,5–2,5 хв для обрушеного.

Висновки за розділом

1. Визначено ключові технологічні параметри процесу знешкодження рицину в насінні рицини за допомогою інфрачервоного випромінювання. Зокрема, встановлено, що для забезпечення повної детоксикації відстань між джерелом ІЧ-випромінювання і насінням має становити 71 мм для обрушеного та 52 мм для необрушеного насіння. Оптимальна температура, за якої зберігаються поживні властивості макухи і водночас досягається повне знешкодження токсину, становить 136 °С для обрушеного і 147 °С для необрушеного насіння. Тривалість перебування насіння в зоні опромінення – 2,6 хв для необрушеного та 1,6–2,6 хв для обрушеного.

2. Проаналізовано вплив режимів ІЧ-обробки на якісні характеристики кінцевої продукції. Показано, що рицинова олія та макуха, отримані після ІЧ-обробки насіння, в якому не виявлено токсину за результатами гемаглютинаційної реакції, відповідають чинним державним стандартам за органолептичними та фізико-хімічними показниками.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Правила безпеки ведення процесу

Цех виробництва рицинової олії має бути спроектований і побудований з урахуванням таких нормативних документів:

- ДНАОП 1.8.10-1.06 «Правила безпеки для олійно-жирового виробництва»;
- СНиП III-4-80 «Техніка безпеки в будівництві», що визначає вимоги безпеки праці, запобігання виробничим травмам, професійним захворюванням, пожежам та вибухам»;
- «Правила безпеки у виробництві рослинних олій методом пресування та екстракції»;
- Нормативи щодо санітарних правил для підприємств, які виробляють рослинні олії;
- «Правила побудови й безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води ПБ-10-573-03»;
- ДСТУ 12.2.085 «Судини, що працюють під тиском; запобіжні клапани. Вимоги безпеки»;
- «Типова інструкція з організації безпечного проведення газонебезпечних робіт»;
- «Типова інструкція з організації безпечного проведення вогневих робіт на вибухонебезпечних і вибухо-пожежонебезпечних об'єктах»;
- «Правила побудови електроустановок»;
- «Правила технічної експлуатації електроустановок СНиП II-6-67»;
- «Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств ППБ-02-75»;
- Системи стандартів безпеки праці.

Технологічний процес виробництва має відповідати вимогам цього регламенту та здійснюватися на справному обладнанні.

5.2 Пожежовибухонебезпечні й токсичні властивості продукції, що виготовляється, сировини, напівфабрикатів і допоміжних матеріалів

Рицинова олія – горюча рідина, температура спалаху не нижче 240 °С. При горінні рицинової олії температура може підвищуватися до 1100–1300 °С. При нагріванні олії до температури 250–280 °С вона розкладається з виділенням акролеїна, окису вуглецю й вуглеводнів різного складу. Продукти розкладання олії вогнебезпечні та токсичні.

Насіння рицини містить наступні токсичні речовини: рицин, рицинін, алерген. Їхній вміст у насінні рицини досягає 2,8–3,0 %. При переробці насіння ці речовини не витягаються із олією, а залишаються в макусі.

Найбільшу токсичність виявляє рицин – водорозчинна фракція неденатурованого білка рицини. Рицин відносять до групи фітотоксинів, він дуже токсичний, термолабільний і має здатність до аглютинації червоних кров'яних кульок (еритроцитів). Рицин отрутний для людини, всіх видів свійських тварина й птахів. Доза в 0,16 г рицину (5–6 штук насінин) є для людини смертельною.

Рицинін відносять до групи алкалоїдів. Він характеризується середньою токсичністю, добре розчинний у воді, погано в ефірі та бензині. Для людини рицинін є малонебезпечним.

Рицинова макуха після детоксикації не отруйна, але горюча. Пил макухи утворює із повітрям вибухонебезпечні суміші. Нижня межа вибухонебезпечності для пилу макухи фракції менш 70 мк – 7,6 г/м³.

Повітря, що викидається вентиляторами шельмашини аспіраційних установок, містить значну кількість мінерального й органічного пилу, у тому числі й такого, що містить токсини рицини (рицин, рицинін, алерген), Концентрація пилу в повітрі, що виходить із шельмашини, становить у середньому 5–10 г/м³ і коливається в більш широких межах залежно від ступеня засміченості насіння та якості роботи шельмашини.

При очищенні насіння на сепараторах, обрушенні його, відділенні оболонки, дробленні макухи, транспортуванні, охолодженні, сушінні й складуванні рицини,

макухи виділяється органічний і мінеральний пи́л, потрапляння якого на слизові оболонки очей, дихальних шляхів, у легені викликає алергійні й респіраторні захворювання.

При інактивації ферментної системи й волого-тепловій обробці утворюється водяна пара.

Макуха рицини – горючий матеріал, при температурі понад 100 °С матеріал обвуглюється. Фуз – горючий матеріал, температура спалаху 264 °С, температура samozапалювання 418 °С. Лушпиння рицинове – горючий матеріал, температура samozапалювання – 100 °С. Фільтрувальна тканина бельтинг ДСТУ 332 – горючий матеріал, температура тління – 250 °С, температура розпалення – 250°С.

5.3 Загальні вимоги техніки безпеки до устаткування й апаратури

Усе технологічне обладнання, що використовують на підприємстві, повинно відповідати нормам, визначеним у «Правилах безпеки під час виробництва рослинних олій методом пресування та екстракції». Імпортне обладнання допускається до експлуатації лише за наявності позитивного висновку Державної санітарно-гігієнічної експертизи МОЗ України.

Виробниче устаткування має відповідати вимогам ДСТУ 12.2.003-91 «Устаткування виробниче». Окрім того, необхідно дотримуватись правил технічної експлуатації електроустановок споживачів і норм безпеки при роботі з енергетичним обладнанням.

Під час встановлення обладнання та прокладання трубопроводів слід керуватись будівельними нормами й правилами (СНиП III-4, СНиП 3.05.05), державними стандартами (ДСТУ), технічними умовами (ТУУ або ТУ) та затвердженими галузевими нормативами.

Устаткування, що може бути джерелом пилу, газу або вологи, має бути герметизоване, обладнане укриттям і оснащене місцевими витяжними системами або аспірацією.

Усе обладнання, яке працює під тиском, повинно відповідати стандарту ДСТУ 12.2.085.

Для апаратів, приладів і трубопроводів із високим тепловиділенням (зокрема, жаровень, шнекових пресів, елеваторів, тостерів, випарників тощо) необхідно передбачити термоізоляцію. Температура зовнішньої поверхні ізоляційного покриття обладнання та паропроводів не повинна перевищувати +45 °С. Усе тепловиділяюче устаткування має бути обладнане системами аспірації по всій своїй висоті.

5.4 Електробезпека

Все обладнання має розроблятися та експлуатуватися згідно з:

- ДСТУ 12.1.019 ССБТ «Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту»;
- ДСТУ 12.1.045 «Електростатичні поля. Допустимі рівні на робочих місцях та вимоги до проведення контролю»;
- ДСТУ 12.2.020 «Електроустаткування вибухозахищене. Класифікація. Маркування».

Здача й прийом устаткування повинні здійснюватися у відповідності зі СНІП 3.05.06-85 «Електротехнічні пристрої». Обсяг і норма приймально-здавальних випробувань електроустаткування повинні відповідати главам 1–8 «Правил побудови електроустановок».

Клас електроустаткування за способом захисту від поразки електричним струмом – 1 за ДСТУ 12.2.007-75.

Електроустаткування й корпуси машин повинні мати пристрої для захисного заземлення за ДСТУ 21130-75.

Опір ізоляції електричних кіл лінії повинен бути не менш 1 МОм,

При експлуатації повинна бути забезпечена електробезпечність за допомогою захисного занулення за ДСТУ 12.1.030-81.

Рівень шуму на робочому місці оператора не повинен перевищувати 80 ДБ(А).
Припустимі рівні звукового тиску в активних смугах відповідно до ДСТУ 12.1.003-83.

Інші вимоги до технологічного устаткування:

- для кожного виду устаткування необхідно мати паспорт виробника;
- у виробничих приміщеннях на обладнанні слід використовувати сигнальні кольори та встановлювати знаки безпеки відповідно до ДСТУ 12.4.026-76;
- трубопроводи повинні бути пофарбовані в розпізнавальні кольори та оснащені попереджувальними знаками і маркувальними щитками згідно з ДСТУ 14202-69 «Трубопроводи промислових підприємств. Розпізнавальне забарвлення, попереджувальні знаки та маркувальні щитки»;
- для гарантування безпечних умов праці обслуговуючого персоналу, всі машини та апарати повинні бути обладнані відповідними контрольно-вимірювальними засобами;
- робота обладнання має здійснюватися у межах установлених нормативів навантаження та технологічних параметрів, згідно з вимогами регламенту і технічної документації (паспорта);
- устаткування, що потребує регулярного обслуговування на висоті понад 1,8 м від рівня підлоги, повинно мати стаціонарні сходи з поручнями, а також обслуговуючі платформи з бортиками. Висота поручнів має становити 1 м, бортиків – не менше 15 см. На рівні 0,5–0,6 м від поверхні платформи необхідно встановити додаткові горизонтальні елементи та вертикальні опори з інтервалом не більш ніж 1,2 м. Настили сходів і платформ мають бути виготовлені з матеріалів, що запобігають ковзанню;
- при експлуатації апаратів необхідно підтримувати в них рівень оброблюваних матеріалів, визначений технологічною інструкцією;
- пускові пристрої електродвигунів (кнопки, рукоятки тощо) повинні мати написи, які пояснюють їх функціональне призначення;
- апарати, паропроводи, трубопроводи гарячої води, що проходять через виробничі приміщення, повинні бути оснащені зовнішньою ізоляцією. Температура зовнішньої поверхні устаткування та трубопроводів на робочих місцях не повинна перевищувати 45 °С.

З метою уникнення опіків та теплових витрат, теплоізоляцію технологічних апаратів необхідно підтримувати в справному стані. Теплоізоляційні матеріали для гарячих поверхонь повинні бути неспалюючі.

Щоб уникнути гідравлічних ударів у паровій системі, що перебуває під тиском, забороняється швидко відкривати парові вентилі і відкривати їх без попередньої продувки конденсатовідводників.

При експлуатації устаткування необхідно систематично робити змащення всіх тертьових частин відповідно до паспорта на дане устаткування.

На всіх кранах повинне бути ясно позначене положення крана. На кожному маховику засувки повинен бути показаний стрілкою напрямок руху: відкрито, закрито.

Всі зовнішні обертові частини устаткування повинні мати захисні огороження.

Робота устаткування при знятих огороженнях не допускається.

Апарати, посудини, що працюють при атмосферному тиску, після монтажу й ремонту із застосуванням зварювання повинні випробовуватися відповідно до вимог ДСТУ 24306-80 поливом води.

Залита водою до верхнього краю посудина витримується 4 год до початку огляду з обстукуванням зварених швів. Допускається також робити випробування змочуванням гасом звареного шва ДСТУ 3242-79. При випробуванні гасом на поверхні, покритої крейдою, не повинно бути масляних плям.

Результати випробувань апаратів, трубопроводів та арматури фіксуються у спеціальному журналі та в паспорті, з підписами осіб, які проводили ці випробування.

5.5 Захист довкілля від забруднюючих викидів

У виробничому приміщенні цеху з переробки рицини встановлено 3 аспіраційні установки, а саме:

1) двохступінчасте очищення №1 від пилу рицини – 1ст. – регулюємий циклон з ефективністю очищення 91,6 % та 2ст. – рукавний фільтр з ефективністю очищення 96,1 % від шельмашини, норії, однопарного вальцьового верстату. Потужність вентилятора – 1640 м³/год;

2) двохступінчасте очищення №2 від пилю рицини – 1ст. – регулюємий циклон з ефективністю очищення 91,6 % та 2ст. – рукавний фільтр з ефективністю очищення 96,1 % від п'яти башмаків норій, двох охолоджувальних колонок, двох п'ятывальцьових верстатів. Потужність вентилятора – 4553,4 м³/год;

3) трьохступінчасте очищення №3 від гідроксиду натрію – 1ст. – регулюємий циклон з ефективністю очищення 91,6 %, 2ст. – вертикальний конденсатор з ефективністю очищення 90 %, 3 ст. – адсорбер з ефективністю очищення 90 % від шнеку, 2 башмаків та голівок норій, збірного шнеку, тостера. Потужність вентилятора – 4747,9 м³/год.

Експлуатаційний стан системи вентиляції дозволяє підтримувати умови праці на робочих місцях на рівні санітарно-гігієнічних норм.

Розрахунок викидів шкідливих речовин при переробці рицини. Максимальні приземні концентрації на межі санітарно-захисної зони підприємства за речовинами, що викидаються в атмосферу при переробці рицини.

Таблиця 5.1 – Розрахунок викидів шкідливих речовин при переробці рицини

Найменування речовини	Номер джерела викиду	На межі санітарно-захисної зони (100 м)		На межі жилої зони (80 м на північ)	
		у частках ГДК	мг/м ³	у частках ГДК	мг/м ³
Пил органічний	20	–			
Натрію гідроксид	21	Розрахунок недоцільний <0,1 ГДК			
Група сумачії – зважені речовини	1-20	0,23	0,115	0,20	0,100

Оцінювання обсягів викидів шкідливих речовин здійснюється відповідно до положень «Методики розрахунку викидів забруднюючих речовин при спалюванні палива в котлах із продуктивністю до 30 тонн пари за годину».

Котельне обладнання призначене для забезпечення виробництва технологічної пари. Річна потреба у паливі становить 575 т, при цьому витрата пального на один котел дорівнює 74 кг/год або 20 т/добу. Як пальне використовується дизельне паливо побутового типу з підвищеним рівнем густини.

Розрахунок викидів твердих часток здійснюється за відповідною формулою.

$$M_{\text{ТВ}} = B \cdot A_2 \cdot \lambda \cdot (1 - T_3),$$

де B – витрату палива, т/рік, г/с; A_2 – зольність палива на робочу масу, приймається рівною 0,025; T_3 – частка твердих часток, що вловлюються технічними засобами, приймається рівної 0; λ – для камерних топків приймається рівною 0,02.

$$M_{\text{ТВ}} = 575 \cdot 0,025 \cdot 0,01 (1-0) = 0,143 \text{ т/год}$$

$$M_{\text{ТВ}} = 20 \cdot 0,025 \cdot 0,01 \cdot (1-0) = 0,050 \text{ г/с}$$

Розрахунок викидів оксидів сірки.

Розрахунок викидів оксидів сірки в перерахуванні на двоокис сірки виконується за формулою:

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot B \cdot S_r \cdot (1 - T')_{\text{SO}_2} \cdot (1 \cdot T''_{\text{SO}_2}),$$

де S_r – вміст сірки в паливі на робочу масу, приймаємо рівним 0,3; T'_{SO_2} – частка оксидів сірки, що зв'язуються летучою золою палива, приймається рівною 0,02; T''_{SO_2} – частка оксидів сірки, що вловлюються в золоуловлювачі, приймається рівною 0.

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot 575 \cdot 0,3 \cdot (1-0,02) \cdot (1-0) = 3,38 \text{ т/год}$$

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot 20 \cdot 0,3 \cdot (1-0,02) \cdot (1-0) = 0,11 \text{ г/с}$$

Розрахунок викидів окису вуглецю.

Розрахунок за формулою:

$$M_{\text{CO}} = 0,001 \cdot C_{\text{CO}} \cdot B \cdot (1 - q_n),$$

де C_{CO} – вихід окису вуглецю при спалюванні палива, у кг на тонну палива.

$$C_{\text{CO}} = q_3 \cdot R \cdot Q_{\text{пр}},$$

де q_3 – втрати теплової енергії, спричинені хімічною неповнотою згоряння палива (приймається як 0,5); R – коефіцієнт, що враховує частку втрат тепла внаслідок утворення оксиду вуглецю при неповному згорянні палива, значення якого

дорівнює 0,65; Q_{1R} – нижча теплота згоряння вихідного пального, для дизельного палива приймається 42,62 МДж/кг; q_n – загальні втрати тепла з паливом, прийняті на рівні 0,5.

$$C_{co} = 0,5 \cdot 0,65 \cdot 42,62 = 13,85$$

$$M_{co} = 0,001 \cdot 13,85 \cdot 575 \cdot (1 - 0,5) = 3,98 \text{ т/рік}$$

$$M_{co} = 0,001 \cdot 13,85 \cdot 20 \cdot (1 - 0,5) = 0,138 \text{ г/с}$$

Розрахунок викидів оксидів азоту.

Кількість оксидів азоту (у перерахуванні на двоокис азоту), що викидаються казаном розраховується за формулою:

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot B \cdot Q_{1r} \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - P),$$

де K_{NO_2} – показник, який визначає об'єм утворення оксидів азоту на 1 ГДж виробленого тепла; для котла з потужністю 0,852 МВт (розраховано як $20 \cdot 0,001 \times 42,62$), його значення становить 0,084. P – коефіцієнт, що враховує ефективність зменшення викидів завдяки впровадженню технічних заходів, приймається рівним 0.

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 545 \cdot 42,62 \cdot 0,084 \cdot (1 - 0) = 1,951 \text{ т/рік}$$

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 20 \cdot 42,62 \cdot 0,084 \cdot (1 - 0) = 0,072 \text{ г/с}$$

Розрахунок розсіювання викидів котельні.

Розрахунок розсіювання забруднюючих речовин котельні в атмосфері виробляється відповідно до ОНД-86 і СН 389-74.

Для розрахунку використовуються наступні фонові концентрації: двоокис азоту – 0,03 мг/м³, оксид вуглецю – 1,00 мг/м³, сажа – 0,06 мг/м³, сірчистий ангідрид – 0,15 мг/м³. За результатами розрахунку максимальна концентрація шкідливих речовин у приземному шарі: для суми SO₂ і NO₂ на межі СЕЗ – 0,8 ГДК, у житловій зоні – 0,7 ГДК. Для оксиду вуглецю розрахунок не проводиться, оскільки сума максимальних концентрацій (у частках ГДК) згідно з ОНД-86 не перевищує 0,1. Для сажі (твердих

часток) розрахунок також не здійснюється, оскільки сума максимальних концентрацій (у частках ГДК) згідно з ОНД-86 не перевищує 0,1.

Величина максимальної сумарної концентрації шкідливих речовин на висоті 8,5 м від одиночних джерел визначається за відповідною формулою:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F_{mn}}{H^2} \cdot \sqrt{\frac{N}{U_{\Delta t}}}$$

де M – загальна маса забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферу з усіх джерел, г/с; U – загальний об'єм газоповітряної суміші, що надходить у повітря з усіх джерел, м³/с. Цей об'єм розраховується за формулою: $C_m = AM \cdot F_{mn}$, при цьому на горизонтальній осі координат відкладається значення U .

Коефіцієнт A – безрозмірна величина, що враховує швидкість осідання (її значення приймається рівним 1); коефіцієнти m та n – також безрозмірні, враховують характеристики викиду газоповітряної суміші в атмосферу, їх значення визначаються за відповідними графіками; параметр G – також визначається графічним методом.

Згідно з технологічними даними: для джерела №1 об'єм викидів $U_1 = 13900 + 2450 = 16350$ м³/год, або 4,54 м³/с; масова витрата шкідливих речовин з джерела №1 становить 0,57 г/с.

Максимальне значення приземної концентрації шкідливих речовин на відстані X_m визначається за відповідною формулою.

$$X_m = d_x \cdot H$$

де d_x – безрозмірна величина.

Величина небезпечної швидкості вітру I_m приймається

$$\text{де } U_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{U_{1\Delta t}}{H}}, U_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{4,54 \cdot 5}{8,5}} = 0,65 \sqrt[3]{2,6} = 0,91 \text{ м/сек}$$

Коефіцієнт m визначається залежно від параметра

$$f = 10^3 \frac{W^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta t}, \quad f = \frac{10^3 \cdot 9,1^2 \cdot 0,2}{8,5^2 \cdot 5} = 4,5$$

$$C_m = 160 \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0,20$$

$$\text{Величина } X_m = 18,1 \cdot 3,5 = 153,85 \text{ м}$$

Висновки за розділом

1. Для забезпечення безпечного функціонування виробництва рицинової олії необхідне суворе дотримання чинних нормативних документів, стандартів і регламентів з охорони праці, пожежної безпеки, електробезпеки та експлуатації обладнання. Особливу увагу слід приділяти токсичним властивостям сировини та продуктів її переробки, забезпеченню герметичності устаткування, наявності ефективних систем аспірації, відповідному маркуванню трубопроводів і електрообладнання, а також контролю за технічним станом теплоізоляції та захисних огорожень.

2. У цеху з переробки рицини впроваджено ефективну систему очищення повітря від забруднюючих речовин, що складається з трьох багатоступневих аспіраційних установок, які забезпечують високий рівень очистки пилу рицини та гідроксиду натрію. Завдяки цьому умови праці у виробничому приміщенні відповідають санітарно-гігієнічним нормам. Розрахунки максимальної приземної концентрації шкідливих речовин на межі санітарно-захисної зони та житлової зони засвідчують, що фактичні значення не перевищують гранично допустимих концентрацій, а викиди від котельні з дизельним паливом не спричиняють перевищення нормативів якості атмосферного повітря. Таким чином, система захисту довкілля на підприємстві забезпечує мінімальний вплив на навколишнє середовище та дотримання екологічної безпеки.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

6.1 Розрахунок економічних показників удосконаленої технологічної лінії переробки насіння рицини

На основі вихідних даних щодо проєкту з виробництва рицинової олії здійснюється обчислення та порівняння таких показників: основні та додаткові капіталовкладення, витрати на переробку сировини, річний економічний результат та період окупності додаткових інвестицій.

Для проведення розрахунків використовуються параметри, прийняті для цеху з виробництва рицинової олії, наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані проєкту удосконалення технологічної лінії з виробництва рицинової олії

Показники	Значення
Вид сировини	Насіння рицини
Основна продукція	Рицинова олія
Побічна продукція	Макуха
Річний обсяг переробки сировини, т	10 000
Вартість 1 т сировини, грн	200 000
Вихід олії за базовим варіантом, %	45
Вихід олії за проєктним варіантом, %	53
Ціна 1 т рицинової олії, грн	120 000
Ціна 1 т макухи, грн	4 000
Кількість основних працівників, осіб	5
Середня місячна зарплата з нарахуваннями, грн	15 000
Обсяг додаткових капіталовкладень, грн	2 000 000
Річне споживання електроенергії, кВт·год	35 000
Вартість 1 кВт·год електроенергії, грн	6,70

Для проведення економічного розрахунку за вихідними даними, потрібно визначити кілька ключових показників: експлуатаційні витрати, повну собівартість продукції, загальний прибуток, рівень рентабельності та термін окупності додаткових вкладень.

1. Заробітна плата з нарахуваннями:

- Кількість основних працівників: 5 осіб;

- Середня місячна зарплата з нарахуваннями: 15 000 грн.

Річна заробітна плата:

$$5 \text{ осіб} \times 15000 \text{ грн/міс.} \times 12 \text{ міс.} = 900000 \text{ грн.}$$

2. Амортизаційні відрахування:

Загальна сума амортизації залежить від вартості основних засобів (що не надано), тому для цього етапу будемо припускати, що амортизаційні відрахування складають певний відсоток від загальної вартості додаткових капіталовкладень.

Наприклад, 10 % річних відрахувань:

$$20000000 \text{ грн} \times 10 \% = 2000000 \text{ грн.}$$

3. Вартість електроенергії:

- Річне споживання електроенергії: 35 000 кВт·год
- Вартість 1 кВт·год електроенергії: 6,70 грн.

Річні витрати на електроенергію:

$$35000 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 6,70 \text{ грн/ (кВт} \cdot \text{год)} = 235000 \text{ грн.}$$

4. Витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування:

Підрахуємо ці витрати як певний відсоток від додаткових капіталовкладень.

Наприклад, 2 %:

$$20000000 \text{ грн} \times 2 \% = 400000 \text{ грн.}$$

5. Інші витрати:

Інші витрати визначаються залежно від специфіки виробництва, тому для оцінки припустимо, що вони становлять 1 % від додаткових капіталовкладень:

$$20000000 \text{ грн} \times 1 \% = 200000 \text{ грн.}$$

6. Визначення кількості рицинової олії та макухи:

- Річний обсяг переробки сировини: 10 000 т.
- Вихід олії за проектним варіантом: 53 %

Річна кількість олії:

$$10000 \text{ т} \times 53 \% = 5300 \text{ т.}$$

Річна кількість шроту:

$$10000 \text{ т} \times (100 \% - 53 \%) = 4700 \text{ т.}$$

7. Визначення витрат на сировину:

Вартість 1 т насіння рицини: 80 000 грн.

Річна вартість сировини:

$$10000 \text{ т} \times 80000 \text{ грн/т} = 800000000 \text{ грн.}$$

3. Визначення витрат на виробництво:

Загальні експлуатаційні витрати:

$$900000 \text{ грн (зарплата)} + 2000000 \text{ грн (амортизація)} + 235000 \text{ грн (електроенергія)} + 400000 \text{ грн (ремонт)} + 200000 \text{ грн (інші витрати)} = 3735000 \text{ грн.}$$

4. Повна собівартість продукції:

Повна собівартість:

$$800000000 \text{ грн} + 3735000 \text{ грн} = 803735000 \text{ грн.}$$

5. Загальний прибуток:

- Ціна 1 т рицинової олії: 160 000 грн.
- Ціна 1 т макухи: 4 000 грн.

Річний дохід від продажу рицинової олії:

$$5300 \text{ т} \times 160000 \text{ грн/т} = 848000000 \text{ грн.}$$

Річний дохід від продажу макухи:

$$4700 \text{ т} \times 4000 \text{ грн/т} = 18800000 \text{ грн.}$$

Загальний річний дохід:

$$848000000 \text{ грн} + 18800000 \text{ грн} = 866800000 \text{ грн}$$

6. Загальний прибуток:

$$866800000 \text{ грн} - 803735000 \text{ грн} = 63065000 \text{ грн}$$

7. Рівень рентабельності:

$$63065000 \text{ грн} / 803735000 \text{ грн} \times 100 \approx 7,85 \%$$

8. Термін окупності додаткових вкладень:

$$20000000 \text{ грн} / 63065000 \text{ грн} \approx 0,32 \text{ року.}$$

Узагальнені дані розрахунку зведені до таблиці 6.2.

Ці показники дають змогу оцінити економічну ефективність впровадження проекту, визначити дохідність виробництва та обґрунтувати доцільність інвестицій. Розрахунок слугує основою для прийняття управлінських рішень щодо реалізації модернізаційних заходів.

Таблиця 6.2 – Узагальнені дані розрахунку економічної ефективності

№	Показник	Значення
1	Заробітна плата з нарахуваннями (річна)	900 000 грн
2	Амортизаційні відрахування (10 % від 20 млн грн)	2 000 000 грн
3	Витрати на електроенергію (35 000 кВт·год × 6,70 грн/кВт·год)	235 000 грн
4	Витрати на ремонт і технічне обслуговування (2 %)	400 000 грн
5	Інші витрати (1 %)	200 000 грн
6	Загальні експлуатаційні витрати	3 735 000 грн
7	Вартість сировини (10 000 т × 80 000 грн/т)	800 000 000 грн
8	Повна собівартість продукції	803 735 000 грн
9	Річна кількість олії (вихід 53 %)	5 300 т
10	Річна кількість макухи (47 %)	4 700 т
11	Ціна 1 т рицинової олії	160 000 грн
12	Ціна 1 т макухи	4 000 грн
13	Дохід від продажу олії (5 300 т × 160 000 грн)	848 000 000 грн
14	Дохід від продажу макухи (4 700 т × 4 000 грн)	18 800 000 грн
15	Загальний дохід	866 800 000 грн
16	Загальний прибуток	63 065 000 грн
17	Рівень рентабельності	≈ 7,85 %
18	Термін окупності додаткових вкладень (20 млн грн / прибуток)	≈ 0,32 року (~4 місяці)

Висновки за розділом

Економічні розрахунки показали доцільність модернізації виробництва рицинової олії. При повній собівартості 803,7 млн грн річний дохід становить 866,8 млн грн, а прибуток – 63,1 млн грн. Рентабельність – 7,85 %, термін окупності вкладень – 0,32 року (близько 4 місяців). Проєкт є прибутковим та ефективним для впровадження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Технологічна схема переробки насіння рицини є комплексним багатостадійним процесом, що передбачає ретельну механічну, термічну, вологу й повітряну обробку сировини з метою максимального вилучення олії при збереженні її якості. Ефективність процесу забезпечується завдяки послідовному виконанню операцій калібрування, шельмування, дроблення, інактивації ферментів, пропарювання, сушіння, попереднього та остаточного пресування, подрібнення макухи, а також організації систем очищення повітря та утилізації відходів. Дотримання регламентованих режимів на кожному етапі дозволяє досягати високого рівня продуктивності обладнання та якості кінцевої продукції.

2. На основі проведеного аналізу встановлено, що екстрагування і комбіновані методи детоксикації рицинової макухи, попри свою поширеність, є економічно недоцільними для впровадження у виробничих умовах міні-заводу через високу ресурсоемність, потребу в дорогому устаткуванні, втрати білку та екологічні ризики. Ефективним і технологічно доцільним методом визнано термічну обробку при температурі не нижче 150 °С у присутності вологи, яка забезпечує повну детоксикацію токсичних речовин без застосування хімічних реагентів. Саме цей метод обрано як базовий для побудови функціонально-технологічної схеми процесу детоксикації рицинової макухи на кормові цілі.

3. Встановлено, що створення малотоннажного підприємства з глибокої переробки насіння рицини дозволяє забезпечити ефективне отримання технічної рицинової олії та знешкодженої кормової макухи з високими показниками якості, відповідаючи сучасним вимогам безпечності, енергоефективності та екологічної доцільності. Запропонована структура виробництва забезпечує замкнутий цикл переробки з оптимальним використанням сировини та мінімальними техногенними навантаженнями на навколишнє середовище. Розрахунок основних показників переробки насіння рицини засвідчує ефективність технологічного процесу з одержання технічної рицинової олії та кормової макухи. При загальній олійності насіння 55 %, сумарний вихід олії становить 53,2 % (форпресової – 48,66 %,

експелерної – 4,54 %), а втрати олії не перевищують 1,8 % (1,49 % – у макусі, 0,31 % – у лушпинні), що свідчить про високу ефективність віджиму. Баланс сировини також свідчить про раціональне використання компонентів: на макуху припадає 24,77 %, на лушпиння – 15,53 %, а втрати вологи й домушок становлять лише 6,5 %.

4. Встановлено основні технологічні параметри детоксикації насіння рицини при обробці інфрачервоним випромінюванням: відстань між джерелом випромінювання та насінням, що гарантує повну детоксикацію рицину, становить 71 мм для обрушеного насіння і 52 мм для необрушеного; оптимальний температурний режим для повної детоксикації, що не погіршує кормові властивості макухи, складає 136 °С для обрушеного насіння і 147 °С для необрушеного; час перебування насіння в зоні ІЧ-обробки – 2,6 хв для необрушеного насіння та 1,6–2,6 хв для обрушеного.

5. Для забезпечення безпечного функціонування виробництва рицинової олії необхідне суворе дотримання чинних нормативних документів, стандартів і регламентів з охорони праці, пожежної безпеки, електробезпеки та експлуатації обладнання. Особливу увагу слід приділяти токсичним властивостям сировини та продуктів її переробки, забезпеченню герметичності устаткування, наявності ефективних систем аспірації, відповідному маркуванню трубопроводів і електрообладнання, а також контролю за технічним станом теплоізоляції і захисних огорожень. У цеху з переробки рицини впроваджено ефективну систему очищення повітря від забруднюючих речовин, що складається з трьох багатоступневих аспіраційних установок, які забезпечують високий рівень очищення пилу рицини та гідроксиду натрію. Умови праці у виробничому приміщенні відповідають санітарно-гігієнічним нормам.

6. Економічні розрахунки показали доцільність модернізації виробництва рицинової олії. При повній собівартості 803,7 млн грн річний дохід становить 866,8 млн грн, а прибуток – 63,1 млн грн. Рентабельність – 7,85 %, термін окупності вкладень – 0,32 року (близько 4 місяців). Проєкт є прибутковим і ефективним для впровадження.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Василенко Н.Є. Фотосинтетичний потенціал сортів рицини. *Таврійський науковий вісник*. 2005. №84. С. 80–89.
2. 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.
3. Avramovic J.M., Marjanović Jeromela A.M., Krstić M.S., Kiproviski B.M., Veličković A.V., Rajković D.D., Veljković V.B. Castor oil extraction: methods and impacts. *Separation & Purification Reviews*. 2024. Vol. 54, №1. P. 60–82.
4. Patel V.R., Dumancas G.G., Kasi Viswanath L.C., Maples R., Subong B.J. Castor oil: properties, uses, and optimization of processing parameters in commercial production. *Lipid Insights*. 2016. Vol. 9. P. 1–12.
5. Ogunniyi D.S. Castor oil: a vital industrial raw material. *Bioresource Technology*. 2006. Vol. 97, №9. P. 1086–1091.
6. Mutlu H., Meier M.A.R. Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2010. Vol. 112, №1. P. 10–30.
7. Tewari D.D. A historical policy review of success of castor revolution in Gujarat, India. *Journal of Human Ecology*. 2012. Vol. 38, №3. P. 213.
8. Severino L.S., Auld D.L., Baldanzi M., et al. A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy Journal*. 2012. Vol. 104, №4. P. 853.
9. Scholz V., da Silva J.N. Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel. *Biomass and Bioenergy*. 2008. Vol. 32, №2. P. 95–100.
10. Mbah G.O., Amulu N.F., Onyiah M.I. Effect of process parameters on the yield of oil from castor seed. *American Journal of Engineering Research*. 2014. Vol. 3, №5. P. 179–186.
11. Salimon J., Noor D.A.M., Nazrizawati A.T., Firdaus M.M., Noraishah A. Fatty acid composition and physicochemical properties of Malaysian castor bean *Ricinus communis* L. seed oil. *Sains Malaysiana*. 2010. Vol. 39, №5. P. 761–764.

12. Kazeem O., Taiwo O., Kazeem A., та ін. Determination of some physical properties of castor (*Ricinus communis*) oil. *International Journal of Science, Engineering and Technology*. 2014. Vol. 3, №12. P. 1503–1508.
13. Balint G.A. Ricin: the toxic protein of castor oil seeds. *Toxicology*. 1974. Vol. 2, №1. P. 77–102.
14. Fernandes K.V., Deus-de-Oliveira N., Godoy M.G., та ін. Simultaneous allergen inactivation and detoxification of castor bean cake by treatment with calcium compounds. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 2012. Vol. 45, №11. P. 1002–1010.
15. Berman P., Nizri S., Wiesman Z. Castor oil biodiesel and its blends as alternative fuel. *Biomass and Bioenergy*. 2011. Vol. 35, №7. P. 2861–2866.
16. Shojaeefard M.H., Etaghani M.M., Meisami F., Barari A. Experimental investigation on performance and exhaust emissions of castor oil biodiesel from a diesel engine. *Environmental Technology*. 2013. Vol. 34, №13–16. P. 2019–2026.
17. Panwar N.L., Shrirame H.Y., Rathore N.S., Jindal S., Kurchania A.K. Performance evaluation of a diesel engine fueled with methyl ester of castor seed oil. *Applied Thermal Engineering*. 2010. Vol. 30, №2–3. P. 245–249.
18. Kulkarni M.G., Sawant S.B. Some physical properties of castor oil esters and hydrogenated castor oil esters. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2003. Vol. 105, №5. P. 214–218.
19. Chen S., Wang Q., Wang T. Hydroxy-terminated liquid nitrile rubber modified castor oil based polyurethane/epoxy IPN composites: damping, thermal and mechanical properties. *Polymer Testing*. 2011. Vol. 30, №7. P. 726–731.
20. Aliiev E., Holovchenko V. Results of laboratory studies on the physico-mechanical properties of castor fruits and seeds. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2025. №1(128). С. 7–15.
21. Алієв Е.Б., Пацула О.М., Гриценко В.Т. Технологія безвідхідної переробки макухи з одержанням протеїнових добавок та біопалива: наук.-метод. рекомендації. Запоріжж : Статус, 2017. ISBN 978-617-7353-59-0. Електрон. аналог друк. вид.

22. Алієв Е.Б. та ін. Методика експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет. *Наук. вісн. НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК.* 2015. Вип. 212, ч. 1. С. 63–69.
23. Алієв Е.Б. та ін. Результати досліджень установки для виготовлення паливних брикетів з лушпинної фракції. *Вісн. ХНТУСГ імені Петра Василенка. Серія: Технічні системи і технології тваринництва.* 2016. Вип. 170. С. 3–7.
24. Алієв Е.Б. та ін. Результати експериментальних досліджень щіткового роторного просіювача. Тези доп. міжнар. наук. інтернет-конф. «Олійні культури. Тенденції та перспективи» (1 листоп. 2016 р.). Запоріжжя: ІОК НААН, 2016. С. 132–133.
25. Алієв Е.Б. та ін. Визначення параметрів формуючих кулачків установки для виготовлення пелет. *Вісник Степу.* 2016. Вип. 13. С. 125–128.