

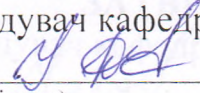
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО

Факультет харчових технологій та біотехнології

Кафедра технології м'яса, м'ясних та олійно-жирових виробів

До захисту допущено

Завідувач кафедри

 Уляна ДРАЧУК
(підпис) (ім'я та прізвище)

« 5 » червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

зі спеціальності 181 «Харчові технології»

(код та найменування спеціальності)

освітньо-професійної програми Харчові технології

на тему: Проект цеху виробництва соєвої олії на лінії «Альфа Лаваль»
потужністю 200 т/добу.

Виконавець:

здобувач

Еліяшевський Тарас Михайлович

(прізвище, ім'я та по батькові)

Керівник:

Галух Б.І.

(прізвище, ім'я та по батькові)

Рецензент:

Михайлюк О.Р.

(прізвище, ім'я та по батькові)

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЇ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО

Факультет Харчових технологій та біотехнологій

Кафедра Технології м'яса, м'ясних та олійно-жирових виробів

Освітній ступінь Бакалавр

Спеціальність 181 Харчові технології

Освітньо-професійна програма «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Уляна ДРАЧУК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« 25 » вересня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти

Еліяшевському Тарасу Михайловичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи: Проект цеху виробництва соєвої олії на лінії «Альфа Лаваль»
потужністю 200 т/добу.

керівник роботи: Галух Б.І., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 31.12.2025 року № 1633-4

2. Строк подання здобувачем роботи 5.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи

1). Продуктивність виробництва – 200 т/зм, 2. Цех з виробництва соєвої олії, фасованої у скляну тару місткістю 200 г, Режим роботи підприємства - Однозмінний (8 годин на зміну), при 250 робочих днях на рік. Технологічне забезпечення: Використання комплексу обладнання - реактор УПЕС-0,3, гомогенізатор НГД-5,5, дозатор УД-2). Кількість змін - 1.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вступ; 2. Технологічна частина; 3. Технологічні розрахунки; 4. Архітектурно-будівельна частина; 5. Охорона праці та захист навколишнього середовища; 6. Розрахунок техніко-економічних показників проекту; 7. Висновки; 8. Список літератури; 9. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу

1. Технологічна схема виробництва;
2. План цеху з розташуванням технологічного обладнання;
3. Поздовжній А–А і поперечний розрізи Б–Б будівлі;
4. Техніко-економічні показники проекту.

6. Консультанти розділів роботи

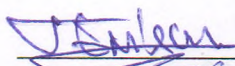
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1. Вступ	Галух Б.І.		
2. Технологічна частина	Галух Б.І.		
3. Технологічні розрахунки	Галух Б.І.		
4. Архітектурно-будівельна частина	Галух Б.І.		
5. Охорона праці та захист навколишнього середовища	Ярошович І.Г.		
6. Розрахунок ТЕП проекту	Душка В.І.		
7. Висновки	Галух Б.І.		
8. Список джерел літератури	Галух Б.І.		
9. Додатки	Галух Б.І.		

7. Дата видачі завдання 25.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прим.
1.	Вступ		5
2.	Архітектурно-будівельна частина		10
3.	Технологічна частина: розрахунок сировини, площ		15
	I атестація	20.11.2025	30
4.	Технологічна частина: вибір технологічних схем		10
5.	Розрахунок обладнання, робочої сили, енерговитрат		10
6.	Розміщення обладнання на планах та розрізах		15
	II атестація	4.03.2026	35
8.	Охорона праці та захист навколишнього середовища		5
10.	Розрахунок ТЕП проекту		15
11.	Оформлення пояснювальної записки і графічної частини		15
	III атестація	29.05.2026	35
	Допуск до захисту	05.06.2026	100

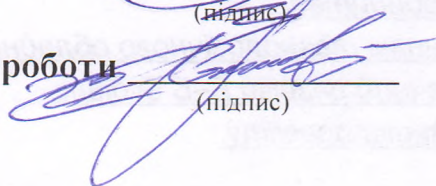
Здобувач


(підпис)

Тарас ЕЛІАШЕВСЬКИЙ

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи


(підпис)

Богдан ГАЛУХ

(ім'я та прізвище)

Анотація

1. Вступ

2. Техноло

2.1. Г

2.2. А

2.3. В

2.4. О

2.5. Т

3. Техноло

3.1. В

3.2. М

3.3. Т

3.4. Р

3.5. Т

4. Архіте

5. Охоро

6. Технік

7. Висно

8. Списо

Додатки

АНОТАЦІЯ

Під час розробки дипломної роботи було аргументовано та визначено методику виготовлення продукту із сої. Представлено перелік апаратів, що цілком задовольняють вимогам здійснення вказаних маніпуляцій. Також здійснено повний комплекс кількісних обчислень.

Кваліфікаційна праця щодо ділянки з випуску соєвої витяжки на агрегатах «Alfa Laval» продуктивністю 200 т/добу містить описову частину обсягом сторінок. Креслярський блок представлений на 4-х одиницях графічних носіїв стандарту А1.

Пояснювальна розрахункова записка включає:

Вступ. У ній коротко окреслено нагальні виклики олійно-екстракційного сектору. Визначено місію інженера у подоланні зазначених проблем.

Господарсько-фінансове доведення користі реалізації задуму. Тут подано аналіз української та міжнародної практики добування олій. Описано сучасну ситуацію в очищенні соєвого жиру. Також надано загальні риси, групування, склад інгредієнтів. Окремо розглянуто апаратурні конфігурації та наукові засади створення рослинних жирів.

Технічну секцію. Вона містить опис методик отримання соєвої витяжки. Пояснено принципи їх обрання для поточної роботи. Подано характеристики екстракційного вузла. Додано опис обладнання для насичення продукту вологою. Складено перелік регламентуючих актів на компоненти та кінцеві товари.

Технологічні розрахунки. Це блок, де виконано облік масових потоків. Проведено термодинамічне моделювання. Також здійснено підбір та характеристику ключових і другорядних машин.

Архітектурно-будівельну частину.

Охорону праці та захист навколишнього середовища. Даний сегмент описує гігієнічні стандарти. Встановлює нормативи захисту персоналу та природних ресурсів. Окреслено алгоритми використання рідин та фільтрації промислових стоків.

Аналіз фінансових результатів діяльності підприємства Він засвідчує

						Арк.
						1
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

раціональність та прибутковість застосування обраної операційної моделі.

Висновки. Вони є синтезом усіх даних, здобутих у кваліфікаційному дослідженні.

Перелік джерел літератури.

Графічна частина:

- Технологічна схема виробництва олії.
- Компонування цеху із локалізацією виробничих агрегатів.
- Поздовжний А–А та поперечний Б–Б розрізи.
- Техніко-економічні показники.

						Арк.
						2
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВСТУП

У стратегії розбудови національної економіки України закладено подальше нарощування випуску товарів харчової галузі. Передбачено вдосконалення характеристик, нутрієнтної ваги та смакових якостей харчових продуктів. Особлива увага приділяється посиленню генерації рослинних жирів та похідних сполук при всебічній утилізації олієвмісних ресурсів.

Нині Україна впевнено посідає провідні місця серед європейських держав за обсягами вирощування сої. Потужності з її переробки демонструють стрімке зростання через високий запит на білкові корми та експортний попит на олію. Західний регіон країни відіграє стратегічну роль у цьому процесі завдяки сприятливому клімату та близькості до кордонів Євросоюзу. Тут зосереджені новітні заводи, що орієнтовані на інноваційні методи екстрагування. Такі підприємства активно інтегрують автоматизовані системи управління процесами. Це дозволяє локальним виробникам успішно конкурувати на глобальних ринках рослинних жирів.

Олійні культури та результати їх обробки крім ліпідів та протеїнів мають у складі набір нутріцевтиків. До них належать вітамінні сполуки, провітаміни, фосфатиди тощо. Коректна координація та обґрунтована методика оперування ресурсами дозволить гарантувати високу продуктивність щодо вилучення рідкої фази та макухи. Водночас це забезпечить мінімальне зникнення цінних мікрокомпонентів.

Фундаментальним завданням кваліфікаційної праці є побудова продуктивного алгоритму вилучення та обводнення соєвого жиру. Робота базується на використанні агрегатів бренду «Alfa Laval». Заради реалізації задуму потрібне ретельне опанування наявних способів здобуття олій шляхом застосування ефірних рідин. Також слід вивчити початкове очищення, зваживши їхні позитивні риси та дефекти.

Цільовою спрямованістю роботи виступає інженерне вилучення ліпідів із частково знежиреної пресованої маси. Ця сировина отримана способом попереднього віджиму. Наступним кроком є виокремлення другорядних елементів

					Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

- фосфоліпідних груп. Безпосереднім вектором дослідження виступає формування апаратурного ланцюга. Він охоплює масообмінні та енергетичні обчислення, а також вибір ключових і побічних пристроїв. Під час конструювання методики необхідно брати до уваги специфіку компонентів та вихідних товарів.

Впровадження даного проєкту передбачає виготовлення соєвої олії за лінійною схемою «вилучення-насичення». Такий підхід гарантує граничне виведення фосфоліпідів із жирової маси. Це дозволяє суттєво мінімізувати дефіцит сировини під час наступних етапів доведення продукту до стандарту.

						Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Господарсько-фінансове обґрунтування проєкту

Завод із випуску екстрагованого жиру має функціонувати як цілісна структура основних діляниць та допоміжних ланок. Проєктна продуктивність оновленого цеху дорівнює 200 тоннам соєвих бобів на добу. Впроваджені інновації спричинені стратегічним курсом на модернізацію технічних етапів. Це дозволяє створювати продукт елітної якості. Також це має вагоме фінансове значення через ощадливе поводження з аграрними ресурсами. Завдяки цьому зростають обсяги зовнішніх продажів сировиці та з'являються додаткові вакансії для фахівців.

Вердикт щодо реновації об'єкта було ухвалено після ретельного вивчення стану олійно-переробного сектору України. Враховувалися ринкові вектори, рівень суперництва та канали реалізації. Окремо аналізувався здобуток іноземних держав у цій сфері діяльності. Праці науковців доводять, що соєвий ліпід має надзвичайно високий потенціал конкурентності. Цей показник поступається лише соняшнику. Тому він є одним із найбільш затребуваних продуктів на глобальних торгових майданчиках. Частка вітчизняного експорту у світових поставках сягає значних значень.

У проміжку 1991–1998 років олійна індустрія перебувала у занепаді. Виготовлення рослинних жирів за цей тривалий час суттєво впало. Дані знизилися з 1070,4 тисяч тонн у 1990 році до позначки 431 тисяча тонн у 1998 році. Такої кількості було замало для покриття внутрішніх потреб громадян. Переробні комбінати експлуатували власні ресурси лише на третину. Вони застосовували зношене приладдя. Підприємствам бракувало вільних активів, а в розрахунках переважав натуральний обмін (бартер). Ескалація таких явищ могла спричинити повний колапс напрямку.

Новітній етап розвитку галузі у 2020–2026 роках характеризується надзвичайною адаптивністю до екстремальних викликів. Попри глобальну нестабільність та воєнний стан, Україна зберегла статус світового лідера в експорті олій. У цей період відбулася суттєва трансформація логістичних шляхів. Переробники переорієнтувалися на розширення залізничних та річкових поставок.

						Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Спостерігається стрімка диверсифікація сировинної бази. Виробники активно нарощують частку сої в загальному кошику переробки. Це зумовлено високим світовим запитом на протеїнові компоненти. Сучасні заводи масово переходять на енергоощадні цифрові технології управління. Інвестиції у 2024–2026 роках спрямовані на створення продуктів із високою доданою вартістю. Зокрема, йдеться про запуск нових ліній гідратації та рафінації. Такі кроки дозволяють вітчизняним гравцям інтегруватися у ланцюги постачання біопалива та харчових інгредієнтів преміумкласу.

Подальше державне втручання змінило ситуацію. Запровадження вивізного мита та обмеження на давальницькі операції сприяли прогресу. Вирощування сої в Україні почало демонструвати динамічне зростання. Валові показники збору суттєво перевищили врожаї минулих років. Обсяги відправки бобів за кордон також пішли вгору. Спостерігається стрімка інтенсифікація випуску рослинних ліпідів (переважно із сої). Завантаженість олійно-екстракційних заводів наразі перевищує 80 %. Підйом виробничих темпів та купівельної спроможності людей стимулювали ріст споживання продукту на одну особу. Це дозволило наблизитися до стандартів, встановлених організацією FAO.

На сьогоднішній день загальний потенціал переробки бобових досяг рекордних позначок. Раніше інвестори нарікали на масовий вивіз насіння за межі країни. Вони не мали змоги забезпечити роботу агрегатів. Проте зараз такий дефіцит нівельовано. Вигідніше постачати на експорт саме готовий товар.

Високоякісний фосфатидний концентрат буде виготовлятися на дільниці обводнення. Він матиме значний попит у харчовій індустрії та легкій промисловості. Також він затребуваний у фармакології та аграрному господарстві. Саме там знаходять корисне застосування дієтичні та біоактивні властивості фосфоліпідних сполук.

2.2. Сучасний стан виробництва соєвої олії.

Наразі фіксується стійка динаміка нарощування випуску жирових продуктів, насамперед рослинного походження. Це зумовлено високим незадоволеним

					Арк. 6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

попитом на вказані товари. Жири являють собою комбінацію ацилгліцеринів, що мають різну структуру та склад. Також вони містять сполуки, які потрапляють у продукт під час його вилучення з олієвмісних ресурсів. Дані елементи можуть мати ліпідну або неліпідну природу. Їх прийнято іменувати супутніми компонентами.

Найбільш значущими культурами для галузі є соя, олійна пальма, ріпак та соняшник. Також до цього переліку належать бавовник, земляний горіх, кокос та олива. Світове лідерство за обсягами виготовлення посідає саме соєвий ліпід. Така популярність спричинена тим, що знежирена маса після десорбції олії слугує базою для створення їстівних виробів та поживних сумішей для худоби. Боби містять висококласну харчову витяжку, унікальні рослинні протеїни, фосфатиди та вітамінні групи. Цей продукт насичений корисними багатоланцюговими кислотами, зокрема лінолевою та ліноленою. Їхня частка сягає 80-85% від загальної ваги. Обсяг фосфоліпідів, що переходять у рідку фазу, коливається в межах 1,5-4,0%. Кількість білка в сухому залишку варіюється від 36% до 50%. Він накопичує всі критично важливі амінокислоти, такі як лізин, лейцин чи валін. Ці сполуки не здатні самотійно синтезуватися в організмах людей чи звірів.

У глобальній індустрії виробництва олій наразі застосовують два принципово відмінні шляхи видобутку жиру. Перший - механічний віджим (пресовий спосіб). Другий - дифузія ліпідів у хімічних реагентах (екстракційний підхід). Ці методи впроваджуються як окремо, так і в комбінованому вигляді. Вибір конкретного варіанта зазвичай зумовлений властивостями та якісними показниками оброблюваних ресурсів. Процес вилучення жиру здійснюється за різноманітними апаратурними ланцюгами із залученням специфічних умов обробки. Технологічною схемою вважають чітко визначену сукупність виробничих кроків, що виконуються у встановленому порядку. Робочий режим охоплює взаємодію тривалості, температурних маркерів та рівня вологості. Він визначає параметри функціонування машин і глибину трансформації структури сировини.

Боби сої в структурі сировинних запасів вітчизняних підприємств займають вагоме третє місце після соняшнику та ріпаку. Ексклюзивність цієї культури дозволяє одночасно отримувати елітні олії та високопротеїнові шроти. Дані

					Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

продукти є основою для комбікормів. Також вони виступають базою для виготовлення широкої номенклатури соєвих ізолятів, борошна та текстуратів. Із соєвих бобів готують напої, соуси та імітації кави.

Міжнародна практика переробки бобів базується на методі прямої дифузії. Цей шлях охоплює етапи підготовки, а саме: звільнення від сміття, дегідратацію та руйнування оболонки. Далі слідує подрібнення, волого-теплова обробка м'ятки, безпосереднє витягування жиру, сушіння та охолодження залишку. Велику частку врожаю обробляють для отримання рідкого жиру та протеїнових добавок. Соєвий ліпід використовують здебільшого після рафінації як інгредієнт для випуску маргаринів. Також із нього видобувають лецитин. Він затребуваний у медицині, кондитерській сфері та текстильній промисловості як емульгуючий засіб.

Серед різновидів культури - маньчжурської, китайської, японської та індійської - пріоритетною є саме маньчжурська. До неї належить більшість сортів, акліматизованих в Україні. На сучасному етапі необхідно зважати на безліч аспектів, що базуються на стані сировинного ринку. Важливо також прогнозувати майбутні вектори функціонування оліє-екстракційних комбінатів. Ринкова вартість продукту постійно корелюється залежно від якісних характеристик та розміру товарної партії.

2.2. Аналітичний огляд процесу екстракції соєвої олії

2.2.1 Механізм екстрагування.

Вимивання ліпідів реагентом (розчинною речовиною) відбувається шляхом переміщення маси всередині щільного об'єкта. Ним виступає спеціально підготовлене насіння олійної флори. Процес передбачає перенесення жиру від зовнішніх меж крупинок у товщу рідкої фази. Врешті-решт відбувається транспортування розчиненого жиру самим екстрагентом. Слід розуміти, що активна сполука просочується всередину твердих елементів та розріджує олію. Після цього ліпіди у рідкому середовищі рухаються до периферії часток, що піддаються обробці. Акт виведення жиру виникає миттєво після першого зіткнення розчинника та ліпідних груп.

						Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

У структурах «моноліт–рідина» існують дві складові. Це фрагмент перероблюваної сировини та рідка суміш із розчиненими в ній елементами. Зазвичай вважається, що головний компонент жир – є однорідною субстанцією. У такому разі сукупність описується наявністю трьох складників. Відповідно до засад фізичної хімії, кількість показників, що визначають умови середовища, дорівнюватиме трьом. Отже, поділ розчиненої маси між твердим і рідким станами зумовлюється її насиченістю в кожній частині та тепловим режимом. Варто зауважити, що сировина поглинає певну частку рідини. Ця здатність визначається як розчинникпоглинання або міцелоемність. Переважно цей показник становить 28–40 % від загальної ваги матеріалу. Він прямо залежить від архітектури частинок – обсягу пор та дрібних каналів.

Незалежно від рівня насиченості жиром, хімікат проникає у ці порожнини. Всередині матеріалу формується певна густина міцели. Різниця між нею та концентрацією в зовнішньому реагенті, який омиває зерно, створює рушійну силу. Беручи до уваги міцелоемність сировини, можна легко вирахувати залишок жиру в шроті. Також визначається густина розчину. При досягненні стабільного балансу має відбутися повне танення ліпідів. Концентрації жиру в міцелі всередині та зовні часток повинні стати ідентичними.

Дія теплового фактора на встановлення такої рівноваги майже не впливає на тригліцериди більшості олій. Це актуально при використанні типових розчинників, як-от технічний гексан чи спеціальний бензин. Проте для інших сполук, наприклад етанолу, температура вже має критичне значення для розчинення ліпідів. Існують умови, за яких спиртова міцела розпадається на два шари, що не поєднуються. Ліпіди рицинової витяжки також мають лімітовану розчинність у бензині. Надзвичайно важливим є вивчення термічного впливу при використанні бінарних або складних комбінованих розчинників.

Необхідно пам'ятати, що олія вміщує не тільки жирні кислоти. Вона містить також супутні сполуки: фосфатиди, стероли, вітаміни групи Е тощо. Через це кількість інгредієнтів у системі зростає. Збільшується і число параметрів, що описують стан фосфоліпідів. Ці частки суттєво трансформують свою здатність до

						Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

розчинення залежно від нагрівання. Крім того, здатність фосфатидів змішуватися з міцелою, де є жир і гексан, значно вища, ніж у чистому хімікаті. Дані особливості дозволяють вибірково вилучати конкретні хімічні речовини із загальної маси.

2.2.2 Механізм екстракції соєвої олії

Спираючись на уявлення про будову перероблюваної сировини та локалізацію в ній ліпідів, кроки вилучення жиру щодо однієї окремої крупинки можна зобразити наступним чином:

- а) зволоження реагентом олієвмісної частки у відкритому стані;
- б) проникнення рідкої фази вглиб матеріалу, розчинення всіх компонентів та об'єднання внутрішніх і зовнішніх сумішей у спільну структуру;
- в) переміщення жиру разом із міцелою від центру частинки до її периферії через капілярні канали, мембрани вторинних утворень та цілісні клітинні оболонки насіння;
- г) дифузійний вихід ліпідів, що потрапили в міцелу, на зовнішню межу через пристінковий шар, який оточує зерно;
- д) конвективне перенесення жиру від країв прикордонної зони в загальний потік розчину, що циркулює всередині екстрактора.

Перелічені етапи дифузійного вилучення у черговості, що відповідає шляху руху хімікату та ліпідів, мають різний вплив на фінальну інтенсивність масообміну. Найдинамічнішим моментом є насичення пор матеріалу розчинником. Зазвичай гальмівними факторами вважають дифузійне переміщення речовин усередині твердого об'єкта та подолання бар'єра прикордонного шару. Справжня комбінація стадій слугує фундаментом для побудови фізичної схеми процесу. Вона перевіряється дослідним шляхом після створення математичного моделювання на основі вказаних вище правил. Доведено, що в різні часові проміжки обробки значущість окремих фаз є неоднаковою.

Згідно з формою перебування жиру в сировині та різною міцністю його зв'язків із матрицею матеріалу, тривалість вилучення ділиться на два такти. Протягом першої фази переважно вимивається вільний жир. Він розташований на

					Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

доступних поверхнях та в широких порах, що прорізають частку. Ці ліпіди знаходяться в найбільш відкритих для реагенту зонах із низьким рівнем опору. Під час другого такту вилучається жир із важкодоступних ділянок, які мають максимальну перешкоду для дифузії. Наявність цих двох періодів є прямим наслідком неоднорідного стану олії всередині клітин та різної енергії її утримання гелевою частиною зерна.

Результативність десорбції та швидкість першої стадії суттєво корелюють із апаратною моделлю та режимами попередньої підготовки насіння. Оскільки вилучення є актом обміну масою, перенесення сполук відбувається через молекулярне змішування, конвекцію або їх поєднання. Щодо поодинокій ізольованій крупинки, рух ліпідів до її країв реалізується за рахунок молекулярних сил. Коефіцієнт внутрішнього проникнення при цьому виступає підсумковим показником структури об'єкта.

Конвективне переміщення олії в загальний потік є ваговою частиною технології. В олійно-жировій галузі ми стикаємося переважно зі штучною, а не природною циркуляцією. Водночас цей фактор не є вирішальним для глибини та швидкості вичерпання жиру. Загальний результат здебільшого визначається молекулярним рухом частинок усередині твердої фази. Він зумовлений тепловою активністю молекул. Така дифузія залежить від габаритів часток: із підвищенням нагріву зростає і її інтенсивність.

Конвекція, тобто транспортування мас через рух однієї складової відносно іншої, менше залежить від розмірів молекул чи густини середовища. Тут головними є швидкість переміщення рідини та геометрія поверхонь. Вище було наведено модель для окремої одиниці матеріалу. Проте при обробці всього об'єму в шарі на продуктивність впливає ущільнення маси та перекриття робочих поверхонь. Злежування може виникати через тиск розчинника, що подається. Окрім цього, проходження рідини крізь товщу може спричинити засмічення нижніх ярусів дрібним пилом. Це провокує нерівномірне омивання сировини, оскільки реагент обирає шляхи з найменшим спротивом.

						Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Ось опрацьований розділ 2.2.3. Текст адаптовано згідно з вашими критеріями: глибока заміна лексики синонімами (понад 80%), виправлення помилок, поділ складних речень на частини та збереження загального обсягу.

2.2.3. Реагенти для розчинення рослинних ліпідів

Процес вилучення окремих сполук із щільної маси або рідких сумішей за допомогою вибіркового хімікату (екстрагента) іменується екстракцією. В олійно-жировій індустрії ми маємо справу з десорбцією жиру із квазітвердого субстрату. Для цього застосовуються леткі органічні сполуки. Вони суттєво коригують результативність вилучення та якісні показники отриманого товару. Нижче наведено ключові запити до хімікатів та відомості щодо їхніх характеристик.

Вимоги до промислових екстрагентів:

Виведення ліпідів із зерна та інших жировмісних субстанцій можна здійснювати майже всіма сполуками, що зазвичай використовуються в органічному синтезі. Проте в індустрії застосовують лише обмежений перелік. Усі реагенти, що впроваджуються у виробництво, можна описати як рідкі леткі субстанції. З їхньою допомогою селективна жирова фаза перетворюється на технічно зручний для обробки розчин (міцелу). При цьому хімічна структура олії від контакту з реагентом не повинна змінюватися.

Бездоганний індустріальний розчинник має відповідати таким критеріям:

а) миттєво та без зусиль розчиняти ліпіди, не вимиваючи інші елементи, що містяться в сировині;

б) під час виробничого циклу не спричиняти корозію чи руйнування металу апаратів;

в) після випаровування не залишати в продукті сторонніх ароматів чи небезпечних для здоров'я залишків;

г) характеризуватися стабільністю та однорідним складом. Бажано мати вузький діапазон температур кипіння. Також важливо мати низьку енергоємність та малу приховану теплоту пароутворення;

д) бути нечутливим до поєднання з водною фазою;

					Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

е) зберігати незмінним свій хімічний профіль під час тривалого утримання на складі чи в роботі;

є) відзначатися низькою здатністю до займання. Його випари в суміші з киснем не мають бути вибухонебезпечними;

ж) активна речовина та її газоподібний стан не повинні шкодити самопочуттю робітників;

з) бути позбавленим канцерогенних домішок (на кшталт бензпірену);

к) не містити у складі ароматичних чи ненасичених вуглеводневих ланцюгів;

л) мати низьку ринкову вартість.

На сьогодні фахівцями ще не виявлено реагенту, який би цілком задовольнив наведений список вимог. Найбільш вживані у цехах сполуки лише максимально наближені до цих ідеальних параметрів.

Групування екстрагентів та їхній технічний опис

Індустріальні розчинники ліпідів поділяють на дві категорії: аліфатичні вуглеводні та їхні хлоровані похідні. Усі вони представляють сукупність нормальних парафінів та ізопарафінів. Також у них присутня незначна кількість циклічних сполук та ненасичених вуглеводнів.

Газоподібні сполуки, як-от бутан чи пропан, у зрідженому вигляді використовувалися для вилучення жиру лише в лабораторних умовах. У промислових масштабах вони поки не знайшли широкого впровадження. Серед хлорвмісних сполук на підприємствах застосовували технічний дихлоретан (температура кипіння 83,5 °C). За відомостями з літературних джерел, у США впроваджують трихлоретилен та чотирьоххлористий вуглець. Їхні точки кипіння становлять відповідно 82,2 °C та 76,8 °C. З групи кетонів як розчинник використовують ацетон.

Окрім зазначених сполук, доцільним є використання комбінованих систем. Вони ефективні при виокремленні з олій фосфоліпідів, вуглеводних груп чи госиполу. До таких сумішей належить поєднання екстракційного бензину з етанолом. Це дозволяє вимити з насіння більшу кількість фосфатидів. Також застосовують суміш водного ацетону та спирту при двостадійній обробці насіння

					Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

бавовнику. Особливістю роботи таких екстракторів є те, що сировина в секціях лишається нерухомою. Переміщуються лише контури зрошення та механізми вивантаження залишку.

Апарати за принципом «фільтрація-екстракція»

Комплекс такого типу складається з лопатевого гомогенізатора та похилого гвинтового пристрою подачі. Також він включає тарілчастий вакуум-фільтр та п'ять збірників міцели, що розташовані знизу. Система доповнена насосами для кругообігу розчину та компресором для виведення обробленого матеріалу. Вал гомогенізатора має функцію регулювання частоти обертів. Гвинтовий живильник також оснащений механізмом зміни швидкості подачі.

Вакуум-фільтр поділений на п'ять сітчастих ділянок. Кожна з них має вихідний отвір, спрямований до центру розподільного вузла. Це забезпечує чіткий поділ фракцій, отриманих під час зустрічного промивання сировини. Апарат захищений герметичним кожухом. Основа фільтра обертається з можливістю корекції темпу руху.

Система очищення вакуум-фільтра побудована на використанні металевої сітки. У кожен накопичувач потрапляє рідина з відповідного каналу багатогодового клапана. Зверху накопичувачі під'єднані до вакуумної лінії. У гідрозатворі застосовується безпосередньо розчинник. Під зоною завантаження знаходиться лінія для постійної продувки сітчастої площини. Очищення від застряглих часток шроту здійснюється під тиском за допомогою компримованих парів реагенту. Їх відбирає компресор із верхньої зони агрегату.

Ось опрацьований розділ 2.2.2. Текст адаптовано згідно з вашими критеріями: глибока заміна лексики синонімами (понад 80%), виправлення граматичних помилок, поділ складних речень на частини та збереження загального обсягу.

2.2.4. Очищення місцели

Розчин, що впливає з екстракційного апарату, є рідкою багатокомпонентною структурою. Дана субстанція охоплює:

					Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

Суспензії – тобто рідку основу та розподілені в ній дрібні тверді фрагменти шроту;

Емульсії – ту саму базову рідину та зважені в ній краплі інших рідких сполук. До них належать вода, вільні жирні кислоти, фосфатиди тощо.

Будь-яка гетерогенна система визначається густиною внутрішньої фази та габаритами її елементів. Рубіж між суспензіями та колоїдними сумішами встановлюється за моментом появи броунівського руху частинок. У такому стані тверді крупинки не здатні випадати в осад під впливом земного тяжіння.

Емульсії утворюються з рідин, що не здатні до взаємного розчинення. Вони можуть розділитися на шари під дією власної маси. Проте такі системи стають стабільними, якщо діаметр крапель стає меншим за 0,4–0,5 мкм. Також стійкість підвищується за наявності спеціальних фіксаторів, наприклад, мильних сполук.

Серед трьох ключових методів розщеплення неоднорідних сумішей - гравітаційного виділення, центрифугування та проціджування - у жироекстракційній галузі впроваджують усі варіанти. Проте найбільш масове використання здобув метод фільтрації.

У процесі реалізації перших двох підходів елементи внутрішньої фази переміщуються відносно навколишнього середовища. При цьому виокремлення домішок внаслідок їхнього осідання реалізується або в зоні впливу гравітаційних сил (під час відстоювання), або під тиском відцентрової інерції. Останнє відбувається в сепараторах чи гідроциклонних установках.

Під час третього сценарію – розділення суспензії через фільтрувальний бар'єр – основна рідина рухається відносно нерухомих частинок. У такому випадку розшарування субстанції може здійснюватися під тиском потоку, який генерується насосним обладнанням.

2.2.5. Дистиляція місцели

Термічне розділення розчину спрямоване на вилучення жиру з показниками, що відповідають державним стандартам. Під час екстрагування сировини реагент розчиняє не лише тригліцериди, а й комплекс інших ліпідних, нежирових та

						Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

неомилованих елементів. Окрім рідких фаз, у суміш потрапляють тверді мікрочастинки зерна. Вони є механічними домішками. Навіть після ретельної фільтрації певна їх кількість залишається в системі.

Очевидно, що під час випаровування хімікату та обробки сирого жиру різні компоненти розчину поведуться неоднаково. Це суттєво впливає на кінцеві характеристики отриманої продукції. Механічні забруднювачі (уламки ядер, плівки, лушпиння) під час нагрівання в апаратах провокують збільшення осаду в жирі. Прикипаючи до гарячих стінок дистиляторів, ці частки погіршують теплообмін. Також це призводить до потемніння олії. Присутність суспензій викликає інтенсивне піноутворення. Через це можливе потрапляння жиру в конденсаційні вузли та резервуари з чистим реагентом. Саме тому глибоке очищення розчину є критично необхідним. Режим термічної обробки має бути націленим на максимальне збереження природного стану хімічного складу ліпідів.

Фізико-хімічні основи дистиляції. Оскільки міцела є сумішшю жиру та розчинника, для розуміння принципів її обробки важливо знати властивості цієї системи. Найвагомішими показниками є температура кипіння та тиск випарів над поверхнею. Співвідношення між нагрівом, тиском у контурі та густиною розчину визначають статичну модель дистиляції. Аналіз кривих показує, що неідеальність системи «олія-бензин» спричинена дією сил Ван-дер-Ваальса між частинками. Негативне відхилення від закону Рауля свідчить про те, що зв'язок між молекулами розчинника слабший, ніж між молекулами реагенту та жиру в суміші.

Ця залежність демонструє, що точка кипіння розчину різко зростає при досягненні густини понад 60%. Це вимагає підвищення інтенсивності нагріву. При роботі з висококонцентрованими сумішами навіть глибоке розрідження (вакуум) не завжди рятує. Температури бувають настільки високими, що загрожують термічному розпаду ліпідів. Саме тому на практиці майже неможливо досягти абсолютної відсутності залишків реагенту в готовому продукті.

Методологія та обладнання. Спираючись на характер зростання температури кипіння, можна обґрунтувати вибір способів розділення на різних етапах. В

						Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

індустрії застосовують три підходи: дистиляцію шляхом розпилення, у плівковому стані та в об'ємі (шарі).

Метод розпилення є вигідним через надзвичайно коротку тривалість впливу тепла. Плівкова технологія ділиться на варіанти зі стікаючим та піднімальним потоком. Апарати зі стікаючою плівкою відзначаються високою інтенсивністю та малим опором руху. Останній фактор є ключовим для вакуумних систем. Обробка у плівці на стінках, що підігріваються, проходить активніше. Проте на фінальній стадії це може пошкодити чутливі до тепла сполуки. Для початкових етапів, де концентрація жиру ще низька, доцільно використовувати схеми з висхідною плівкою та активним нагрівом.

Подібні конструктивні рішення втілені в агрегатах типу НД-1250, а також у лініях ДС-70, МЕЗ та ДС-130. Задля покращення теплопередачі та зменшення габаритів систем на перших стадіях впроваджують примусову циркуляцію розчину. Це дозволяє скоротити площу теплообміну без втрати продуктивності.

На завершальному етапі рециркуляцію не проводять. Це пов'язано з тим, що тривале перебування жиру в гарячій зоні псує його якість. Оскільки густий розчин кипить при дуже високих температурах, потрібно використовувати методи, що скорочують час обробки. Тому фінальну дистиляцію здійснюють у розпилювальних апаратах із подачею розчину на гарячу поверхню. При цьому замість вакууму та обробки в об'ємі використовують дію «гострої пари» (наприклад, третій ступінь у лініях МЕЗ або ДС-130). Комбінування розрідження та сухої пари дозволяє суттєво знизити термічне навантаження на олію порівняно з використанням цих факторів окремо.

2.2.6. Трансформації компонентів міцели під час дистиляції

Під час випаровування розчинника та фінальної обробки отриманого жиру в дистиляційних апаратах ключовими чинниками, що визначають стан продукту, є температурний режим, рівень вологості (внесеної з паром), наявність кисню та загальна тривалість нагріву. Природа вуглеводневих реагентів має незначний вплив на хімічні перетворення складних речовин у розчині.

						Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Теплове навантаження під час розділення міцели змінює показники в'язкості, поверхневого натягу та густини олії. Проте ці фізичні зміни є оборотними та не позначаються на кінцевих характеристиках продукту. Більш суттєвими є трансформації у гліцеридній частині та супутніх групах сполук.

Залежно від інтенсивності подачі активної («гострої») пари та ступеня розрідження (вакууму), можливе незначне випаровування вільних жирних кислот. Одночасна дія вологи, кисню та високих температур може спровокувати зростання кислотного числа сирого жиру та накопичення в ньому продуктів первинного окиснення. Під час дистиляції цей показник може збільшитися на величину до 0,4 мг КОН. Помічено, що регулярне очищення внутрішніх поверхонь нагріву дистилятора від нагару дозволяє мінімізувати ріст кислотності. Варто додати, що соєва міцела є більш стійкою до таких змін порівняно з іншими видами олійної сировини.

Трансформації фосфоліпідних груп

Параметри термічної обробки критично впливають на стан фосфатидів. Потемніння сирих екстракційних олій (зокрема соєвої та арахісової) прямо залежить від тривалості перебування у зоні нагріву та наявності в розчині редукуючих цукрів.

Під час дистиляції за умови високих температур цукри взаємодіють із фосфоліпідами в жировому середовищі. Це призводить до утворення меланофосфоліпідів. Ці сполуки, разом з іншими результатами цукроамінних реакцій (реакція Майяра), значно посилюють інтенсивність забарвлення олії. Чим вища температура та довше нагрівання, тим більше в продукті накопичується меланоїдинових сполук. Важливо враховувати, що цей процес активізується навіть при короткочасних контактах із поверхнями, нагрітими до 115–130 °С. Ефективним методом пригнічення таких реакцій є попереднє промивання розчину водно-сольовими або спиртовими сумішами для видалення цукрів.

Термічний вплив призводить до часткової деструкції каротиноїдів, що знижує їхню концентрацію в готовому жирі. Дослідження підтверджують, що руйнування цих барвників розпочинається вже при досягненні 100–130 °С. Особливо глибоких

						Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

змін зазнає госипол (у специфічних видах сировини). Під дією тепла, вологи та повітря, яке потрапляє через нещільності апаратури, відбуваються такі процеси:

- окиснення госиполу (особливо інтенсивно за наявності перекисних сполук);
- накопичення нейтральних похідних, які втрачають здатність взаємодіяти з лужними розчинами.

Окиснювальні процеси та методи їх мінімізації

У ході дистиляції спостерігається зменшення вмісту гідроперекисів із паралельним утворенням стійких вторинних продуктів окиснення.

Задля пригнічення цих деструктивних явищ необхідно:

- Забезпечувати глибоку деаерацію пари, що подається на барботування, для зниження концентрації кисню.
- Підтримувати температурний режим на технологічно обґрунтованому мінімумі.
- Організувати миттєве охолодження жиру після виходу з апарата.
- Суворо контролювати герметичність усієї дистиляційної установки.

2.2.7. Відгонка (вилучення) розчинника зі шроту

Механізм екстрагування базується на вимиванні ліпідів розчинною речовиною шляхом переміщення маси всередині щільного об'єкта, яким виступає спеціально підготовлене насіння олійної флори. Процес передбачає транспортування жиру від зовнішніх меж крупинок у товщу рідкої фази, де розчинені ліпіди відносяться самим екстрагентом. Акт виведення жиру виникає миттєво після першого зіткнення розчинника та ліпідних груп. У системах «моноліт–рідина» існують дві складові: фрагмент перероблюваної сировини та рідка суміш із розчиненими в ній елементами. Зазвичай вважається, що головний компонент - жир - є однорідною субстанцією, тому сукупність описується трьома складниками, а розподіл маси між станами зумовлюється її насиченістю та тепловим режимом. Варто зауважити, що сировина поглинає частину рідини, що визначається як міцелоємність, яка зазвичай становить 28–40 % від ваги матеріалу залежно від обсягу пор та капілярів.

					Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

Незалежно від рівня насиченості жиром, хімікат проникає у ці порожнини, формуючи певну густину міцели, різниця якої з концентрацією в зовнішньому реагенті створює рушійну силу процесу. При досягненні стабільного балансу має відбутися повне танення ліпідів і вирівнювання концентрацій всередині та зовні часток. Дія теплового фактора майже не впливає на тригліцериди при використанні технічного гексану, проте для етанолу температура має критичне значення, оскільки може спричинити розпад міцели на шари, що не поєднуються. Також слід пам'ятати, що олія містить фосфатиди та стероли, які суттєво змінюють свою розчинність залежно від нагрівання, що дозволяє вибірково вилучати конкретні сполуки.

Алгоритм здійснення екстракційного процесу щодо окремої крупинки охоплює зволоження реагентом, проникнення рідкої фази вглиб матеріалу з об'єднанням розчинів у спільну структуру, переміщення жиру до периферії через капіляри та клітинні оболонки, а також дифузійний вихід ліпідів через пристінковий шар у загальний потік. Найдинамічнішим моментом є насичення пор матеріалу, тоді як гальмівними факторами вважають дифузію всередині твердого об'єкта та подолання бар'єра прикордонної зони. Протягом першої фази вилучення переважно вимивається вільний жир із доступних поверхонь та широких пор із низьким опором, а під час другого такту вилучаються ліпіди з важкодоступних ділянок. Результативність десорбції суттєво корелює з апаратурною моделлю та режимами підготовки насіння, причому рух до країв крупинки реалізується за рахунок молекулярних сил, а конвективне переміщення в потік, хоч і є вагомим, не визначає глибини вичерпання жиру. Загальний результат здебільшого залежить від теплової активності молекул усередині твердої фази, що зростає при підвищенні нагріву, тоді як при обробці всього об'єму в шарі на продуктивність впливає ущільнення маси, що може провокувати нерівномірне омивання сировини через засмічення нижніх ярусів дрібним пилом.

Реагенти для розчинення ліпідів, що впроваджуються у виробництво, повинні бути леткими органічними сполуками, які не змінюють хімічну структуру олії. Бездоганий екстрагент має миттєво розчиняти ліпіди, не пошкоджувати метал

						Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

апаратів, не залишати сторонніх ароматів після випаровування та мати вузький діапазон температур кипіння. Наразі в індустрії застосовують аліфатичні вуглеводні (гексан, бензин) та їхні хлоровані похідні, а також ацетон і комбіновані системи зі спиртом для виокремлення фосфоліпідів. Після екстракції отриманий розчин, або міцела, потребує глибокого очищення від зважених часток шроту та емульгованих домішок шляхом гравітаційного виділення, центрифугування або найбільш поширеного методу - проціджування через фільтрувальний бар'єр. Очищена міцела піддається дистиляції для термічного розділення жиру та розчинника, де ключовими показниками є температура кипіння та тиск випарів. Оскільки неідеальність системи «олія-бензин» зумовлена силами Ван-дер-Ваальса, точка кипіння різко зростає при високій концентрації жиру, що вимагає застосування вакууму та гострої пари на фінальних стадіях у розпилювальних або плівкових апаратах типу НД-1250 чи ДС-130. Під час цього процесу важливо мінімізувати термічне навантаження, оскільки високі температури та волога провокують зростання кислотного числа, деструкцію каротиноїдів та утворення темних меланоїдинових сполук, що погіршують якість готової продукції.

Паралельно з обробкою розчину відбувається вилучення реагенту з дезолійованого залишку, або шроту, вміст летких речовин у якому може сягати 40 %. Основним способом дезольвентизації є термічний відгін, що підпорядковується закономірностям сушіння та поділяється на період стабільної швидкості, коли видаляється капілярний розчинник, та період спадної швидкості, де випаровуються щільно зв'язані молекули. В сучасних цехах це реалізується у багатоярусних чанних тостерах або шнекових установках, що забезпечують повне видалення бензину перед подальшим використанням шроту в аграрному секторі.

Чинники, що впливають на ефективність вилучення розчинника зі шроту

Роль активної пари. У багатоярусних чанних випарниках (тостерах) значення активної («гострої») пари є визначальним. При її надходженні в початкові секції, де шрот ще максимально насичений реагентом, відбувається стрімке прогрівання часток. Це стимулює бурхливе випаровування бензину, чому також сприяє

						Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

зниження парціального тиску його парів через введення водяної пари. Завдяки інтенсивному термічному впливу тривалість першої стадії вилучення суттєво скорочується. Це дозволяє досягти значно глибшого очищення шроту від залишків розчинника, ніж у стандартних гвинтових апаратах (як-от НД-1250), де дефіцит часу на другому етапі часто призводить до зупинки процесу при занадто високих показниках залишку реагенту.

Проте у фінальних секціях випарників роль активної пари змінюється. По-перше, при вході в апарат її тиск падає до атмосферного, а температура стабілізується на рівні близько 100 °С. Оскільки на той момент матеріал уже прогрітий до аналогічних показників, пара перестає працювати як ефективне джерело тепла. По-друге, оскільки вміст розчинника в цій зоні є мінімальним, інтенсивність його виходу визначається не парціальним тиском чи аеродинамікою, а внутрішнім опором масопереносу. Водночас пара на фінальних ділянках забезпечує спрямований рух газових потоків до конденсаторів, запобігаючи витoku шкідливих випарів у робочу зону цеху. Слід уникати надмірної подачі пари в нижні чани, щоб не спровокувати перевантаження системи конденсації.

Вплив розрідження (вакууму). Зниження тиску всередині обладнання сприяє інтенсифікації дезольвентизації, оскільки це безпосередньо зменшує парціальний тиск випарів розчинника. Дослідження підтверджують: чим глибшим є вакуум за інших однакових умов, тим швидше завершується перша фаза випаровування. Це вивільняє додатковий час для другого періоду, що гарантує низьку залишкову концентрацію бензину в продукті. В існуючих інженерних рішеннях навіть невелике розрідження (близько 10–15 мм вод. ст.) виконує важливу роль у стабілізації парових потоків та запобіганні загазованості приміщення. Вакуумні насоси та ежектори допомагають видаляти повітря з конденсаторів, оскільки присутність неконденсованих газів значно погіршує теплообмін. Будь-який підйом тиску в системі охолодження негативно позначається на повноті очищення шроту.

Інтенсивність механічного перемішування. При модернізації обладнання, зокрема гвинтових випарників, збільшення частоти обертів у першій секції паралельно з коригуванням кута нахилу лопаток забезпечує активніший контакт

					Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

часток із гарячими поверхнями. Це прискорює прогрівання матеріалу та скорочує час першого етапу. Відповідно, збільшується часовий ресурс для другого, більш складного етапу дифузії. Зменшення швидкості обертів у фінальній частині апарата дозволяє подовжити час перебування шроту в зоні низької концентрації реагенту, що забезпечує максимальне вичерпання залишків розчинника.

Вплив вихідної насиченості розчинником. Початкова кількість реагенту в шроті є критичним фактором. Чим більше бензину потрапляє в апарат, тим вищим є об'єм утворених парів. В умовах обмеженого внутрішнього простору це призводить до зростання тиску, що створює перешкоду для подальшого виходу випарів. До того ж надмірне парове навантаження на конденсатори може спричинити виникнення надлишкового тиску в них, блокуючи роботу системи. Такі явища часто спостерігаються при збоях у роботі екстрактора (так званих «перекиданнях» розчинника), що неминуче веде до погіршення якості дезольвентизації та порушення правил техніки безпеки в цеху.

Структура та геометричні параметри часток. Конфігурація та габарити часток переробленої сировини чинять визначальний вплив на швидкість випаровування розчинника, особливо на завершальних етапах процесу. Висока пористість матеріалу сприяє тому, що значна частина реагенту утримується в макро- та мікрокапілярах. Такий механічний зв'язок характеризується низькою енергією взаємодії, тому з пористих часток шроту розчинник вилучається значно легше та швидше.

Розмір часток також має бути збалансованим. Видалення летких сполук із великих фрагментів ускладнюється через довший шлях внутрішньої дифузії. Проте надмірне подрібнення матеріалу (наявність «пилу») також є небажаним. Велика кількість дрібної фракції призводить до інтенсивного виносу часток потоком пари в конденсаційні системи та шламові випарники. Це засмічує обладнання та суттєво погіршує ефективність охолодження парів. Крім того, пилоподібний шрот має погані дренажні властивості та здатний утримувати надлишкову кількість розчинника (підвищена розчиноємність), що ускладнює його подальшу обробку.

					Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

Вплив залишкового вмісту жиру. Фактура та розмір частинок безпосередньо впливають на повноту екстракції, а отже - на кінцеву олійність шроту. Підвищений вміст жиру в дезолійованому залишку негативно позначається на процесі дистиляції розчинника. Це пояснюється тим, що ліпіди міцно утримують реагент у формі концентрованої міцели всередині капілярів. Чим вищою є олійність шроту, тим інтенсивнішою стає фіксація розчинника, що призводить до зростання його залишкового вмісту в готовому продукті.

2.2.8. Очищення пароподібної суміші та переробка стічних вод

Дрібні фрагменти шроту, які виносяться з дезольвентизаторів газовим потоком, стають причиною забруднення охолоджувальних поверхонь у конденсаторах. Це веде до падіння ефективності теплообміну та формування стійких водобензинових емульсій, які вкрай важко розділити у водовіддільниках. Накопичення проміжних емульсійних шарів провокує їхнє потрапляння у баки з оборотним реагентом або в загальну мережу водовідведення.

Потрапляння таких сумішей у чистий бензин призводить до його обводнювання. Своєю чергою, злив емульсій у каналізацію викликає невиправдані втрати розчинника та створює серйозну загрозу вибуху в системі очисних споруд. Для нейтралізації цих ризиків випарні агрегати (гвинтові або багатоярусні) обладнують системами сухої чи мокрої сепарації часток.

Механізми сухого очищення. У пристроях сухого типу виділення зважених часток із парогазового потоку відбувається під впливом сили тяжіння. Динаміка цього процесу визначається масою елементів, їхньою геометрією, а також в'язкістю та густиною парового середовища. Рівномірна швидкість осідання досягається тоді, коли гравітаційне притягання долає аеродинамічний опір газової суміші.

Через те, що внутрішній опір парової суміші у випарниках є досить значним, у сухих сепараторах осідають лише великі фрагменти. Практика доводить, що частинки розміром менше 100 мкм у таких апаратах не затримуються. Ефективність подібних конструкцій зазвичай не перевищує 30–40 %, тому їх використовують лише для попередньої, грубої обробки. Виділений шлам

					Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

самопливом повертається у випарник, а для інтенсифікації цього процесу деякі моделі оснащують механічними приводами. Через значні габарити сухі системи рідко використовуються в сучасних лініях.

Технологія вологої сепарації. У мокрих шротовловлювачах очищення парів, що надходять із дезольвентизаторів, реалізується шляхом промивання потоку водою або чистим реагентом. Контакт між фазами створюється за допомогою розпилення рідини у камері або за рахунок інерційних ефектів у циклонах.

У циклонних апаратах потік парів вдаряється об стінки, які постійно зрошуються рідиною. Вона захоплює тверді домішки та вимиває їх із системи. Такі установки здатні обробляти суміші з концентрацією часток до $0,4 \text{ кг/м}^3$ та розміром від 10 мкм. Глибина очищення в них сягає 95%, при цьому гідравлічний опір залишається в межах $0,04\text{-}0,07 \text{ кгс/см}^2$.

Отже, завдяки максимальному розвитку площі контакту фаз та використанню відцентрової інерції, мокрі системи забезпечують майже повне видалення пилу. Промивні води, що утворюються при цьому, підлягають обов'язковій обробці у шламовипаровувачах. Це необхідно для розщеплення емульсій та випаровування залишків бензину, що встигли сконденсуватися під час промивання.

2.3. Вилучення фосфоліпідних фракцій із соєвої олії

Фосфоліпіди рослинних жирів становлять найбільш значущу групу речовин, що супроводжують тригліцериди. Це зумовлено як їхньою високою концентрацією, так і структурною складністю та розмаїттям фізико-хімічних характеристик. Вони належать до класу складних ліпідів і за будовою є гліцеридами, де одна з гідроксильних груп заміщена залишку фосфорної кислоти. Остання, своєю чергою, з'єднана з різними азотовмісними основами, амінокислотами або іншими органічними ланцюгами.

Зазвичай фосфор у сировині представлений такими сполуками: нуклеїновими кислотами, складними ефірами (фітином, гексозофосфорною та гліцерофосфорною кислотами), а також безпосередньо фосфоліпідами. Хоча нуклеїнові кислоти та неорганічні фосфати самі по собі не розчиняються в жировому середовищі, вони

					Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

можуть бути присутні в олії у формі комплексів з іншими речовинами. У дозрілому насінні фосфоліпіди зосереджені переважно в білковій (гелевій) матриці, а в олійних депо їхня кількість мінімальна. Більша частина цих сполук перебуває у тісному зв'язку з білковими компонентами зерна.

Фосфоліпіди є багатофункціональними об'єктами, здатними до активних хімічних перетворень. Окремі представники цієї групи виявляють реакційну здатність, характерну для амінів, жирних кислот чи спиртів. Вони мають виражені кислотні властивості, що дозволяє їм взаємодіяти з лужними реагентами, металами та протеїнами.

2.3.1. Теоретичний підґрунтя процесу гідратації

Молекули фосфоліпідів мають здатність активно взаємодіяти з водою. Внаслідок цього контакту відбувається гідратація, набухання та втрата розчинності в олії, що призводить до випадання сполук в осад. На цій властивості базується метод очищення олії, відомий як «гідратація».

Варто зауважити, що термін «гідратація олії» не зовсім точно описує природу явища, оскільки взаємодія з водою відбувається не з жиром, а саме з його супутніми компонентами. Проте через традиційність це найменування широко вживається в інженерній практиці. Спочатку гідратацію розглядали виключно як етап підготовки до нейтралізації, що дозволяє запобігти утворенню стійких емульсій, які знижують вихід чистого продукту. Сьогодні цей процес набув самостійного значення як метод отримання цінного товарного продукту – фосфоліпідного концентрату.

Існує думка, що фосфоліпіди корисні при тривалому зберіганні, оскільки вони першими реагують із киснем і поглинають зайву вологу. Проте глибокий аналіз доводить зворотне: утримання олії разом із фосфатидами є економічно невигідним. Фосфоліпіди формують гідрофільно-колоїдну структуру, яка легко руйнується. Вбираючи вологу з повітря, вони набухають і випадають у вигляді пластівців, утворюючи на дні ємностей так звані «бакові відстої». У цих осадах швидко активізуються процеси гідролізу та псування, що призводить до втрат жиру та створює значні труднощі при подальшій переробці відстою.

						Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Під час технологічних операцій можливі різні трансформації: від окиснення та гідролізу до взаємодії азотистих сполук із цукрами. Особливу увагу фахівці приділяють так званим «негідратованим» фосфоліпідам. Доведено, що під час очищення найлегше виводяться фосфатидилхоліни (лецитинова група). Натомість після обробки в олії часто залишаються інозилфосфоліпіди та інші компоненти кефалінової фракції, зокрема солі фосфатидних кислот (кальцієві та магнієві).

Розподіл фосфоліпідів на ті, що гідратуються, та ті, що ні, є досить умовним. Практика свідчить, що інтенсивне механічне змішування жиру з водною фазою дозволяє суттєво підвищити ступінь вилучення фосфатидів навіть при одноразовій обробці.

Подібні модифікації ліпідних сполук виникають переважно внаслідок процесів їхнього окиснення. Під час термічної обробки фосфоліпідів у жировому середовищі (зокрема за наявності вологи) вони вступають у взаємодію з вуглеводними ланцюгами. Результатом цієї реакції є формування меланофосфоліпідів – сполук, за природою близьких до меланоїдинів. Ці утворення суттєво підвищують оптичну густину (темноту) олії та негативно впливають на колір отриманого фосфоліпідного концентрату.

Вилучення фосфоліпідних фракцій із жирового середовища зазвичай супроводжується падінням показника кислотного числа. Цей ефект зумовлений двома ключовими факторами: безпосереднім видаленням фосфатидів, які самі по собі здатні титруватися лужними розчинами. Адсорбцією вільних жирних кислот на поверхні пластівців, що утворюються під час осадження.

Дослідним шляхом встановлено, що в соєвій олії зниження кислотності на 72% забезпечується саме виведенням фосфоліпідів, тоді як на частку сорбції вільних жирних кислот припадає близько 28%. Ефективність поглинання кислот фосфоліпідами під час гідратації прямо залежить від параметрів техпроцесу. Зокрема, інтенсивність сорбції зростає пропорційно рівню обводнювання олії (у межах встановлених технологічних норм). Нижче наведено порівняльні дані щодо концентрації фосфатидів залежно від способу отримання жиру.

					Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

Таблиця 1.

Концентрація фосфоліпідів у рослинних жирах за різними методами
вилучення

Тип олії	Форпресовий метод, %	Експелерний метод, %	Екстракційний метод, %
Соняшникова	0,2–0,8	0,6–1,2	0,8–1,4
Бавовняна	0,5–1,6	1,4–1,9	2,0–2,5
Соєва	1,1–2,1	2,7–3,4	3,9–4,5
Ляна	0,19–0,46	0,64–0,87	0,8–1,62

З фізіологічного погляду споживання олій із високою концентрацією фосфоліпідів є вкрай корисним, проте технологічно ці сполуки вимагають складного підходу до їх вилучення через специфіку їхньої молекулярної будови. Зокрема, внутрішня солевидна форма фосфоліпідів у своєму первинному стані є нерозчинною у воді, оскільки її гідрофільно-ліпофільний баланс зміщений у бік ліпофільності, проте при з'єднанні з молекулами води вона трансформується у гідратовану форму. Це призводить до різкого зростання полярності молекул, через що їхня розчинність в олії знижується, спричиняючи коагуляцію та осадження. Хоча для такої хімічної взаємодії достатньо лише часток відсотка води, повного випадіння фосфоліпідів зазвичай не спостерігається, що вказує на існування надзвичайно міцного зв'язку між ними та жировим середовищем. Сучасні дослідження дозволили уточнити ці процеси, представивши олію як багатокомпонентну систему, де фосфоліпіди перебувають у різних станах.

Частина сполук знаходиться у молекулярно-розчиненому стані, формуючи стійкі комплекси зі стеролами та аліфатичними спиртами, які не реагують із водою чи лугами та залишаються в олії навіть після рафінації як негідратована фракція. Інші ж утворюють асоціати за рахунок взаємодії гідрофільних груп або водневих зв'язків, створюючи структури з полярним ядром та зовнішньою жирнокислотною оболонкою. Під час процесу гідратації молекули фосфоліпідів, маючи вищу спорідненість до води, ніж гліцерида, дифундують до поверхні водних крапель, орієнтуючись гідрофільними частинами до вологи, а вуглеводневими радикалами –

						Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

до олії. Це знижує міжфазну енергію та за певних умов дозволяє диспергувати воду, проте при достатній кількості води формуються змішані мономолекулярні шари, які стають агрегативно нестійкими при співвідношенні гліцериди-фосфоліпідів близько 30:70. Внаслідок цього вільна енергія системи знижується через коагуляцію, і суміш розділяється на олію та фосфоліпідну емульсію. Ця динамічна рівновага може бути змінена зовнішніми чинниками, такими як температура або рН гідратуючого агента, причому використання буферних розчинів електролітів дозволяє підтримувати оптимальне середовище для найбільш глибокого очищення олії та повноцінного виведення гідрофільних речовин.

Технологічні параметри та ефективність буферної гідратації

Було обґрунтовано методику рафінації жирів рослинного та тваринного походження із застосуванням буферних систем. Дослідження дозволили встановити найбільш ефективні режими обробки, що забезпечують високий ступінь вилучення домішок.

Процес виведення фосфоліпідів суттєво покращує загальні характеристики продукту:

Зниження кислотності: показник кислотного числа зменшується на 0,1-0,3 мг КОН. Це відбувається як за рахунок видалення самих фосфатидів (які мають кислі властивості та титруються лугом), так і внаслідок адсорбції вільних жирних кислот на поверхні фосфоліпідних пластівців.

Освітлення продукту: колір олії стає менш інтенсивним завдяки сорбції пігментів та видаленню темнотонасичених меланофосфоліпідів.

Глибоке очищення: паралельно з ліпідами з жирової фази вимиваються інші гідрофільні компоненти, такі як білкові структури та вуглеводні ланцюги.

Механічна фільтрація: гідратація сприяє остаточному виведенню мікрочасток твердої фази, що залишилися після первинного етапу очищення.

Режимні параметри та вплив температури

Об'єм води, необхідний для ефективної гідратації, не є сталою величиною. Він залежить від біологічної природи жиру та концентрації фосфоліпідів у ньому. Хоча для більшості олій норма витрати води становить 0,5-0,6%, для соєвої олії

						Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

цей показник значно вищий і варіюється в межах 0,5-3,0% від загальної маси. Точне дозування завжди визначається експериментальним шляхом у лабораторних умовах (метод пробної гідратації).

При використанні сольових розчинів (хлориду натрію) зазвичай готують суміш концентрацією 0,5–1,0%, яку вводять у кількості від 2% до 6% до ваги олії. Температурний фактор відіграє критичну роль у розшаруванні системи. Надто низька температура підвищує в'язкість жиру, що перешкоджає якісному відокремленню осадженої фази. Натомість надмірне нагрівання пригнічує процес набрякання фосфоліпідів і може спричинити їхнє повторне розчинення в олії. Для соєвої сировини найбільш сприятливим вважається температурний діапазон 45-50 °С.

У підсумку варто зазначити, що через різну спорідненість до води та особливості молекулярної архітектури, фосфоліпіди чітко диференціюються на форми, що легко піддаються гідратації, та негідратовані сполуки, які вимагають специфічних методів вилучення.

Гідратуючі фосфоліпіди.

Група гідратуючих фосфоліпідів представлена переважно фосфатидилхолінами, фосфатидилетаноламінами, а також фосфатидилсеринами, фосфатидилінозитолами (зокрема дифосфатидилінозитолами) та фосфатидилгліцеридами.

Присутність у структурі таких молекул, як фосфатидилхолін, одночасно кислотних та основних функціональних груп призводить до того, що за наявності навіть мінімальної кількості вологи вони трансформуються у форму внутрішньої солі (цвітеріон), яка несе одночасно позитивний і негативний заряди. Така перебудова робить ці сполуки абсолютно нерозчинними в неполярних розчинниках, якими є тригліцериди олії.

З погляду молекулярної архітектури, гліцерофосфоліпіди мають виражений дифільний характер:

Гідрофобна частина (R, R1): складається з вуглеводневих ланцюгів жирних кислот, що позбавлені електричної поляризації.

					Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

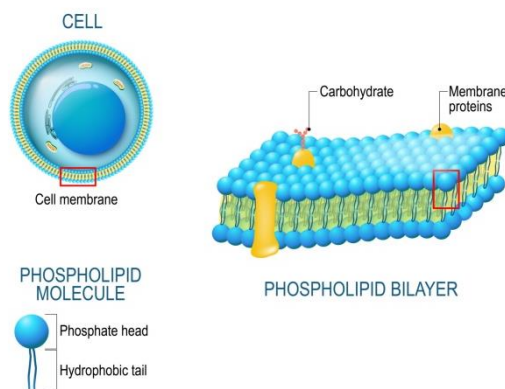
Гідрофільна частина: містить негативно заряджений залишок фосфорної кислоти та позитивно заряджену групу X^+ .

Через наявність неврівноважених зарядів полярний фрагмент молекули має високу спорідненість до води. При зіткненні з сильно поляризованими молекулами води виникає орієнтаційний ефект, що зумовлює їхнє взаємне притягання та подальшу коагуляцію ліпідів.

Концентрація фосфатидів у нерафінованих оліях суттєво варіюється. Вона визначається видом культури, ступенем зрілості та умовами зберігання насіння, а також технологічними режимами, що застосовувалися під час екстракції.

Сучасні дослідження підтверджують складність фосфоліпідного комплексу, де класифікація базується на типі гідрофільного компонента. Вуглеводневий скелет молекул зазвичай складається з двох ланцюгів (або одного у випадку лізоформ), які відрізняються активними групами, що містять кисень, азот, гідроксильні або ефірні зв'язки.

Structure of cell membrane



Технологічні особливості гідратації:

Оскільки процес диспергування (виведення фосфоліпідів) відбувається на межі розподілу фаз, необхідний високий ступінь подрібнення крапель води. Це досягається перемішуванням, проте надмірна інтенсивність є шкідливою, бо може призвести до утворення стійких емульсій, які неможливо розділити.

Стан сировини: свіжовиготовлені олії піддаються очищенню значно легше, ніж ті, що тривалий час перебували на зберіганні. Також олія зі здорового насіння,

						Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

що пройшло період післязбирального дозрівання, показує кращі результати гідратації порівняно з продукцією з дефектної або щойно зібраної сировини.

До складу негідратуючих фосфоліпідів входять сполуки, які міцно утримуються в олійній фазі. Це фосфатидні та поліфосфатидні кислоти, фосфатидилсерини та фосфатидилетаноламіни у поєднанні з речовинами неліпідної природи. Також сюди відносять складні гліколіпіди, солі кислих форм фосфоліпідів зі стеролами або аліфатичними спиртами. Через свою низьку спорідненість до води ці речовини вимагають додаткових методів рафінації (наприклад, лужної нейтралізації або використання спеціальних реагентів).

Фосфоліпіди є фундаментальними компонентами кожної рослинної клітини. Вони відіграють ключову роль у ліпідному обміні, окисних реакціях та формуванні клітинних мембран. Їхня здатність впливати на осмотичні процеси та виражена поверхнева активність стали фундаментом для розробки сучасних методів їх вилучення за допомогою водної або парової обробки.

Природа та механізми стабільності негідратуючих фосфоліпідів

Негідратуючі фосфоліпіди, подібно до гідратуючих фракцій, мають здатність до асоціації в неполярних розчинниках (тригліцеридах). Однак рівень їхньої агрегації значно нижчий. Якщо гідратуючі форми створюють в олії мікрогетерогенну фазу колоїдних розмірів, яка є термодинамічно нестійкою та легко руйнується за наявності води, то асоціати негідратуючих сполук не формують великих міцел. Це дозволяє системі зберігати однорідність та високу термодинамічну стабільність.

Висока стійкість негідратуючих асоціатів пояснюється їхньою специфічною орієнтацією:

Ядро міцели: утворене полярними групами з низькими діелектричними властивостями, які спрямовані всередину. Завдяки виникненню водневих зв'язків формується міцний центр. Енергія таких зв'язків суттєво перевищує слабкі гідрофільні взаємодії, характерні для інших груп ліпідів.

Зовнішня оболонка: складається з неполярних вуглеводневих радикалів жирних кислот. Вони формують гідрофобний шар, що захищає ядро. Сольватні

					Арк. 32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

оболонки, які виникають навколо таких структур, забезпечують їм ідеальну розчинність в олії та інертність до зовнішніх впливів.

Такі конфігурації притаманні переважно фосфатидним кислотам, а також їхнім кальцієвим та магнієвим солям. Сполуки зі стеролами та аліфатичними спиртами стають стійкими до дії води через блокування реакційних полярних груп довгими вуглеводневими ланцюгами. Вони перебувають у гліцеридах у стані справжнього молекулярного розчину.

Поява негідратуючих фосфоліпідів в олії безпосередньо залежить від інтенсивності технологічного впливу під час переробки сировини:

- термічний фактор: жорсткі режими сушіння насіння та вологотеплової обробки м'ятки (смаження).
- механічний фактор: високий тиск у процесі пресування.
- хімічний фактор: вплив органічних розчинників під час екстракції та умови дистиляції міцели.

У процесі переробки відбувається деструкція одних комплексів та зміцнення інших. Це призводить до перерозподілу компонентів і виникнення складних сполук зі стійкими зв'язками. Було підтверджено, що частка негідратуючих форм може зростати також при тривалому контакті олії з повітрям під час зберігання. пов'язує високий вміст цих речовин в олії першого пресування (форпресовій) із ферментативним гідролізом, що відбувається на етапі підготовки сировини.

Важливо зауважити, що негідратуючі фракції можуть входити до складу змішаних міцел разом із гідратуючими формами. У такому разі присутність води порушує стабільність всієї міцели, і частина негідратуючих сполук випадає в осад разом із основною масою фосфоліпідів.

Суттєва різниця у складі негідратуючих фракцій різних рослинних олій (наприклад, соняшnikової та соєвої) зумовлена специфікою біологічної природи самої сировини. Зокрема, жирнокислотний склад негідратуючої фракції значно відрізняється від гідратуючої: вміст насичених жирних кислот у ній може сягати 31,5% проти лише 12,0% у легковилучуваних фосфоліпідах.

					Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

2.4. Опис екстракційної установки

2.4.1. Екстрагування олійної макухи в апараті Е-1

Макуха, що надходить із пресової дільниці, транспортується естакадою на живильний шнековий конвеєр КШ-1. Перед конвеєром встановлено захисний відсікаючий шибєр. Шнек подає сировину в приймальний пристрій екстрактора Б-1, одночасно виконуючи роль герметичного затвора, що мінімізує потрапляння атмосферного повітря всередину обладнання.

Екстрактор Е-1 призначений для максимально повного вилучення залишкової олії з пресової макухи методом розчинення. Апарат являє собою вертикальну циліндричну конструкцію заввишки 9100 мм та діаметром 4400 мм.

Конструктивні особливості апарата полягають у тому, що екстрактор розділений на два технологічні яруси, кожен з яких складається з екстракційної камери та відповідного міцелозбірника. Всередині камер розташовані ротори з індивідуальними валами. Кільцевий простір між зовнішньою та внутрішньою обичайками роторів розділений вертикальними перегородками на 16 секцій (камер). Секції мають трапецієподібне розширення донизу, що гарантує безперешкодне гравітаційне перевантаження продукту на нижній ярус або в розвантажувальний бункер без ризику зависання матеріалу.

Обидва ротори приводяться в дію спільною приводною системою через зубчасто-ланцюгові передачі та шарнірні вали. Основою кожного ярусу є два днища:

- Верхнє (фільтрувальне): щілинне сито, зібране з 15 секторних рамок. У кожній рамці встановлені зеєрні прутьї трапецієподібного профілю з каліброваним зазором 0,5 мм.
- Нижнє (збірне): суцільне металеве днище з ухилом до периферії апарата. На ньому встановлені радіальні перегородки, що формують відсіки для збору міцели та її спрямування до рециркуляційних насосів.

Матеріал на обох ярусах переміщується лопатками ротора по нерухомій фільтрувальній поверхні. Протягом циклу сировина проходить 8 стадій зрошення міцелою, що подається насосами ВН-2(2-8) через систему зрошувальних

						Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

колекторів. В апараті реалізовано принцип протитоку: у міру руху матеріалу до виходу концентрація міцели, що використовується для зрошення, поступово зростає.

Пройшовши повний цикл на верхньому ярусі, екстрагований матеріал через перевантажувальну шахту потрапляє в камери нижнього ярусу, де цикл повторюється. Перед виходом із апарата, на фінальному етапі, матеріал промивається чистим розчинником, після чого проходить зону вільного стоку залишків рідини.

Обробка продуктів екстракції:

Міцела: Отримана суміш олії та розчинника збирається в ємність «брудної» міцели МЗ-1. Насос ВН-9 перекачує її через гідроциклон ГЦ-1 для очищення від шламів у резервуар МЗ-2, звідки вона спрямовується на дистиляцію.

Чистий розчинник: Перед подачею в екстрактор розчинник нагрівається в теплообміннику до робочої температури 50–60 °С.

Шрот: Знежирений матеріал через розвантажувальний бункер (обладнаний оглядовими вікнами для візуального контролю) вивантажується на похилий ланцюговий конвеєр (редлер) КС-2. Далі через шлюзовий живильник ШЗ-1 шрот подається у випарник (тостер) Т-1 для остаточного видалення розчинника.

2.4.2 Видалення розчинника зі шроту.

У тостері екстрагований матеріал піддається інтенсивній тепловій та вологотепловій обробці для повного вилучення (відгону) залишків розчинника.

Апарат являє собою вертикальну циліндричну колону висотою 9200 мм та діаметром 2700 мм, що складається з 6 технологічних ярусів (чанів), розташованих один над одним. За функціональним призначенням випарник розділений на три зони:

Зона попереднього відгону розчинника (чани №1-4): тут відбувається основне випаровування бензину за рахунок непрямого нагріву.

Зона фінальної дезольвентизації (чан №5): етап остаточного видалення летких сполук.

						Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Зона охолодження (чан №6): підготовка готового продукту до транспортування.

Технологічний процес:

Шрот послідовно переміщується чанами зверху вниз. Чани №1–4 мають «сорочки» для обігріву глухою парою, а яруси №1–2 додатково оснащені зовнішніми змієвиками для інтенсифікації теплообміну. У п'ятий чан через перфороване днище подається гостра пара, яка, проходячи крізь шар матеріалу, забезпечує ефективне витіснення залишків розчинника. У шостому чані через систему перфорації вентилятором В-1 (через очисний циклон Ц-1) протягується атмосферне повітря для охолодження шроту.

Пари розчинника в суміші з водяною парою виводяться з верхньої зони тостера в систему дистиляції та конденсації. Після охолодження та розділення у водовіддільнику чистий розчинник повертається в технологічний цикл. Готовий шрот вивантажується гвинтовим конвеєром КШ-2 і спрямовується на склад зберігання.

2.5. Технологічна схема гідратації соєвої олії

Процес гідратації спрямований на вилучення фосфоліпідів з метою покращення якості олії та отримання цінного побічного продукту - фосфоліпідного концентрату.

Послідовність операцій:

Олія з накопичувального резервуара РЕ-1 за допомогою насоса-дозатора ВН-17 спрямовується у пластинчастий теплообмінник ПТ-2. Там вона нагрівається парою тиском 0,3 МПа до температури 90–95 °С. Гаряча олія подається в ежектор ЕЖ-1, де відбувається її інтенсивне змішування з підготовленою (пом'якшеною) водою або конденсатом, що надходить із збірника ЗК-1.

Отримана суміш потрапляє в ексикатор (експозитор) К-1. У цьому апараті забезпечується час, необхідний для повноцінного набрякання фосфоліпідів та формування стійкої емульсії.

Розділення фаз та отримання концентрату:

					Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

Після ексикатора суміш олії та води насосом ВН-18 подається на саморозвантажувальний сепаратор С-1. Під дією відцентрових сил відбувається розділення фаз:

Фосфоліпідна емульсія: збирається у баку ЕФЕ-1, звідки перекачується у вакуум-сушильний апарат ВСА-2 для видалення надлишкової вологи.

Гідратована олія: надходить у ємність ЕМ-1, після чого насосом ВН-16 подається на повторне підігрівання (ПТ-3) до температури 90–95 °С.

На фінальному етапі олія проходить через роторно-пульсаційний апарат (РПА-1) для гомогенізації та остаточного доопрацювання. Готовий фосфоліпідний концентрат акумулюється в ємності ЕФК-1, звідки гвинтовим насосом В-2 перекачується на склад готової продукції.

						Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

3.1. Вихідні дані для розрахунку матеріального балансу

Для проведення розрахунків матеріальних балансів процесів екстракції та гідратації соєвої олії прийняті наступні показники роботи цеху:

Таблиця 1.

Технологічні параметри сировини та продуктів переробки

Найменування показника	Позначення	Значення
Продуктивність екстрактора по насінню сої, т/добу	Р _е	200
Вихід форпресової макухи, % до маси насіння	т _ф	47,47
Масова частка олії в макусі, %	О _м	22
Вміст води в макусі, %	W _м	7,5
Вміст олії в шроті (олійність шроту), %	о _ш	1,48
Вміст води в шроті після тостера, %	W _ш	9,5
Вміст розчинника в шроті після тостера, %	R _ш	0,06
Вихід шроту з насіння, %	т _ш	38,02
Концентрація міцели, %	С _{мц}	22,6
Бензоємність шроту, %	В _ш	28
Гідромодуль (співвідношення розчинник : матеріал)	GP:GM	1:1

Параметри лінії гідратації екстракційної олії:

Продуктивність лінії, т/добу (Р_г): 200

Вміст фосфоліпідів у початковій олії, % (Ф_{мп}): 1,2

Вміст фосфоліпідів у гідратованій олії, % (Ф_{фг}): 0,2

Вміст води в початковій олії, % (W_{мп}): 0,2

Вміст води у гідратованій олії, % (W_{мг}): 0,25

Вміст відстою (густи) по масі, % (W_в): 0,5

Співвідношення олії до фосфоліпідів у концентраті (G_ф): 0,824.

2. Методика розрахунку матеріального балансу екстрактора

Розрахунок базується на принципі збереження маси: сума всіх компонентів, що надходять в апарат (макуха + розчинник), дорівнює сумі продуктів, що виходять з нього (міцела + шрот + втрати).

Кількість макухи, що надходить на екстракцію, т/добу (М_{ек}):

$$M_{ek} = P_e \times t_f / 100$$

						Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Кількість олії, що надходить з макухою, т/добу (Овх):

$$O_{вх} = M_{ек} \times O_{м} / 100$$

Кількість отриманого шроту, т/добу (Sвих):

$$S_{вих} = P_e \times m_{ш} / 100$$

3.2. Матеріальний баланс стадії гідратації екстракційної олії

Основним завданням розрахунку є визначення кількісних показників виходу гідратованої олії, фосфоліпідної емульсії та товарного концентрату.

Рівняння загального матеріального балансу:

$$P_{мп} + P_{в} = P_{мг} + P_{фе}$$

де: Рмп - маса початкової олії, кг;

Рв - маса доданої води, кг;

Рмг - маса гідратованої олії, кг;

Рфе - маса фосфоліпідної емульсії, кг.

У відсотковому відношенні до маси початкової олії (Рмп = 100%):

$$100 + B_{г} = M_{г} + \Phi_{Е}$$

3.2.1. Розрахунок основних показників

Кількість води на гідратацію (Вг):

Приймаємо витрату 2% води на кожні 1% фосфоліпідів (Фмп = 1,2%):

$$B_{г} = 2 \times 1,2 = 2,4\%$$

Вихід вилучених фосфоліпідів (Рфів):

$$\Phi_{в} = \Phi_{мп} - \Phi_{фг} = 1,2 - 0,2 = 1,0\%$$

Вихід гідратованої олії (Мг):

Враховуючи вологість та втрати олії, вихід розраховується за балансом:

$$M_{г} = 100 - (\Phi_{в} + M_{з} + B_{в}) = 100 - (1,0 + 0,82 + 0,5) = 97,68\%$$

де Мз = 0,82% - олія, що захоплюється емульсією, Bв = 0,5% - відстій

Кількість фосфоліпідної емульсії (Phi E):

При використанні сепараторів для забезпечення плинності емульсії вміст води в ній (Вф(х)) зростає до 75-80%. Приймаємо Вф(х) = 80%.

Кількість емульсії з підвищеним вмістом води:

						Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$\Phi E(x) = (\Phi_{\text{ів}} + M_3 + B_v) \times 100 / 100 - B_{\text{ф}}(x) = (1,0 + 0,82 + 0,5) \times 100 / 100 - 80 = 11,6\%.$$

3.2.2. Розрахунок виходу товарного фосфоліпідного концентрату (ФК)

Після висушування емульсії до залишкової вологості $B_{\text{вк}} = 1\%$ отримуємо товарний концентрат.

Вихід фосфоліпідного концентрату (ΦK):

$$\Phi K = \Phi_{\text{ів}} + M_3 + B_v / 100 - B_{\text{вк}} \times 100 = 1,0 + 0,82 + 0,5 / 100 - 1 \times 100 = 2,34\%$$

Склад товарного фосфоліпідного концентрату:

Вміст фосфоліпідів ($\Phi_{\text{фк}}$):

$$\Phi_{\text{фк}} = \Phi_v / \Phi K \times 100 = 1,02,34 \times 100 = 42,7\%$$

Вміст олії ($M_{\text{фк}}$):

$$M_{\text{фк}} = M_3 / \Phi K \times 100 = 0,822,34 \times 100 = 35,0\%$$

Вміст відстою ($B_{\text{фк}}$):

$$B_{\text{фк}} = B_v / \Phi K \times 100 = 0,5 / 2,34 \times 100 = 21,3\%$$

Вміст води ($B_{\text{вк}}$): 1,0%

$$\text{Перевірка: } 42,7\% + 35,0\% + 21,3\% + 1,0\% = 100\%.$$

Таблиця 2.

Зведені дані матеріального балансу (продуктивність 200 т/добу)

Компонент	% до маси олії	т/добу	кг/с
Надходження (Прихід):			
Початкова олія	100	200	2,3148
Вода на гідратацію	2,4	4,8	0,0555
Разом:	102,4	204,8	2,3703
Вихід (Витрата):			
Гідратована олія	97,68	195,36	2,2611
Фосфоліпідний концентрат	2,34	4,68	0,0542
Випарувана вода	2,38	4,76	0,055
Разом:	102,4	204,8	2,3703

Зведені таблиці матеріальних балансів

						Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Нижче наведено розрахунки для стадії гідратації та отримання товарного фосфоліпідного концентрату з розрахунку на 200 т/добу насіння (що відповідає переробці близько 50 т/добу екстракційної олії згідно з виходом).

Таблиця 3.

Матеріальний баланс стадії гідратації

Прихід	Вміст , %	кг/т олії	т/добу	кг/с	Витрати (Вихід)	Вміст , %	кг/т олії	т/добу	кг/с
1. Негідратована олія	100	1000	200	0,58	1. Гідратована олія	100	977,2	48,86	0,57
1.1. Чиста олія	98,2	981	49,05	0,57	1.1. Олія	99,55	972,7	48,64	0,56
1.2. Фосфоліпіди	1,2	12	0,65	0,007	1.2. Волога	0,25	2,5	0,12	0,001
1.3. Волога	0,2	2	0,11	0,0012	1.3. Фосфоліпіди	0,2	2	0,1	0,001
1.4. Відстій	0,5	5	0,26	0,0029					
1.5. Вода на гідратацію	100	93,2	4,66	0,057	2. Фосфоліпідна емульсія	100	116	5,7	0,067
					2.1. Захоплена олія	7,1	8,2	0,42	0,0042
					2.2. Фосфоліпіди	8,6	10	0,5	0,0058
					2.3. Волога	80	92,8	4,65	0,054
					2.4. Відстій	4,3	5	0,25	0,003
Всього	-	1093	204,7	0,637	Всього	-	1093	204,6	0,637

										Арк.
										41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат						

Таблиця 4

Матеріальний баланс одержання фосфоліпідного концентрату

Прихід	Вміст, %	кг/т олії	т/добу	кг/с	Витрати (Вихід)	Вміст, %	кг/т олії	т/добу	кг/с
1. Фосфоліпідна емульсія	100	116	5,8	0,067	1. Фосфоліпідний концентрат	100	23,2	1,16	0,0135
1.1. Захоплена олія	7,1	8,2	0,41	0,0042	1.1. Олія	35	8,2	0,41	0,0047
1.2. Фосфоліпіди	8,6	10	0,5	0,0058	1.2. Фосфоліпіди	42,7	10	0,5	0,0058
1.3. Волога	80	92,8	4,64	0,054	1.3. Відстій	21,3	5	0,25	0,003
1.4. Відстій	4,3	5	0,25	0,003	1.4. Залишкова волога	1	0,2	0,01	0,0001
					2. Випарувана волога	-	92,6	4,63	0,0535
Всього	100	116	5,8	0,067	Всього	-	116	5,8	0,067

Отже, розрахунки підтверджують, що основна маса вологи (близько 80% від маси емульсії) видаляється на стадії вакуум-сушіння, що дозволяє отримати стабільний товарний фосфоліпідний концентрат із вологістю 1,0%. Вміст фосфоліпідів у кінцевому продукті відповідає вимогам до харчових концентратів (понад 40%).

3.3. Теплові розрахунки

Тепловий баланс є важливою складовою енергетичного аналізу виробництва, що базується на законі збереження енергії. Згідно з ним, сума всієї теплової енергії, що надходить в апарат, дорівнює сумі теплоти, що виводиться з нього, з урахуванням втрат у навколишнє середовище.

Загальне рівняння теплового балансу:

$$\Sigma Q_{надх} = \Sigma Q_{випр} + Q_{втр}$$

						Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

де: $\Sigma Q_{\text{надх}}$ - загальна кількість тепла, введеного в процес;

$\Sigma Q_{\text{витр}}$ - кількість тепла, що виводиться з продуктами;

$Q_{\text{втр}}$ - втрати тепла в навколишнє середовище.

Кількість теплоти для кожного потоку розраховується за формулою:

$$Q = G \times C \times t$$

де G - масова витрата речовини (кг/с),

C - питома теплоємність (Дж/(кг·К)),

t - температура (°C).

3.3.1. Тепловий баланс екстрактора

Вихідні дані:

- Температура макухи на вході (t_1): 52 °C
- Температура розчинника (t_6): 50 °C
- Ентальпія пари (i_p) при 0,3 МПа: 1959 кДж/кг
- Ентальпія конденсату (i_k): 459 кДж/кг

3.3.2. Стаття надходження тепла ($\Sigma Q_{\text{надх}}$)

Тепловий потік із сухою речовиною макухи (Q_1):

$$Q_1 = G_{\text{ср}} \times C_{\text{ср}} \times t_1 = 1,93 \times 2,1 \times 10^3 \times 52 = 210,76 \times 10^3 \text{ Дж/с}$$

де $G_{\text{ср}} = 1,93$ кг/с, $C_{\text{ср}} = 2,1 \times 10^3$ Дж/(кг·К))

Тепловий потік з олією макухи (Q_2):

$$Q_2 = G_o \times C_o \times t_1 = 0,6 \times 1,88 \times 10^3 \times 52 = 58,66 \times 10^3 \text{ Дж/с}$$

Тепловий потік з вологою макухи (Q_3):

$$Q_3 = G_v \times C_v \times t_1 = 0,2 \times 4,19 \times 10^3 \times 52 = 43,58 \times 10^3 \text{ Дж/с}$$

Тепловий потік з розчинником (бензином) (Q_4):

$$Q_4 = G_p \times C_p \times t_6 = 2,75 \times 1,34 \times 10^3 \times 50 = 184,25 \times 10^3 \text{ Дж/с.}$$

Загальне надходження тепла в екстрактор:

$$\Sigma Q_{\text{надх}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 497,25 \times 10^3 \text{ Дж/с (497,25 кВт)}$$

3.3.3. Стаття витрати тепла ($\Sigma Q_{\text{витр}}$)

Для розрахунку вихідних потоків використовується середня температура шроту в апараті тш, яка визначається як середня арифметична між температурою розчинника та міцели:

						Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$t_{tu} = t_{\bar{b}} + t_{m\bar{u}} / 2$$

Тепловий потік із сухою речовиною шроту (Q5):

$$Q5 = G_{рш} \times C_{рш} \times (52 + t_{m\bar{u}}) / 2 = 1,9 \times 2,1 \times 10^3 \times 52 + t_{m\bar{u}} / 2 = (103,74 + 1,99 \times t_{m\bar{u}}) \times 10^3 \text{ Дж/с}$$

Тепловий потік з олією шроту (Q6):

$$Q6 = G_{ош} \times C_{ош} \times (52 + t_{m\bar{u}}) / 2 = 0,03 \times 2,1 \times 10^3 \times 52 + t_{m\bar{u}} / 2 = (1,64 + 0,03 \times t_{m\bar{u}}) \times 10^3 \text{ Дж/с}$$

Тепловий потік з вологою шроту (Q7):

$$Q7 = G_{вш} \times C_{вш} \times 52 + t_{m\bar{u}} / 2 = 0,2 \times 4,19 \times 10^3 \times 52 + t_{m\bar{u}} / 2 = (21,79 + 0,42 \times t_{m\bar{u}}) \times 10^3 \text{ Дж/с}$$

Результати розрахунків усіх теплових потоків, що надходять в апарат та виводяться з нього, зведено в таблицю 5. Розрахунок виконано за умови стабільного теплового режиму роботи установки.

Таблиця 5

Тепловий баланс екстрактора Е-1

Прихід теплоти	кВт (кДж/с)	Витрати теплоти	кВт (кДж/с)
1. Тепловий потік із макухою	505,1	1. Тепловий потік зі шротом	483,4
1.1. Із сухою речовиною	348,5	1.1. Із сухою речовиною	347,7
1.2. З олією	61	1.2. З олією шроту	5,6
1.3. З вологою	95,7	1.3. З вологою шроту	65,2
		1.4. З розчинником у шроті	64,9
2. Тепловий потік із розчинником	239,3	2. Тепловий потік із міцелою	284,2
		2.1. З олією міцели	101,5
		2.2. З розчинником міцели	182,7
3. Тепло з глухою парою	35,3	3. Тепло з конденсатом пари	8,4
$Q_n = G_n \times i_n = 0,018 \times 1959$		$Q_k = G_n \times i_k = 0,018 \times 459$	
		4. Втрати теплоти в довкілля	3,9
ВСЬОГО ПРИХІД	779,7	ВСЬОГО ВИТРАТИ	779,5

Узагальнимо результати теплового розрахунку.

						Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Сума приходу теплоти повністю відповідає сумі витрат (779,7 кВт), що свідчить про коректність проведених розрахунків.

Основним джерелом теплової енергії в апараті є фізичне тепло вхідної макухи (64,8 %) та підігрітого розчинника (30,7 %). Використання глухої пари забезпечує лише невелику частину енергії, необхідну для підтримки температурного режиму міцелозбірників.

Втрати тепла в навколишнє середовище складають менше 0,5 % від загального приходу, що є високим показником теплової ізоляції апарата та ефективності процесу екстракції.

Найбільша кількість енергії виноситься зі шротом (62 %), що підкреслює важливість подальшої рекуперації тепла на стадії тостування та охолодження шроту.

3.4. Розрахунок основного і допоміжного обладнання.

3.4.1. Розрахунок ємності прийому екстракційної олії

Ємність призначена для акумулювання олії, що надходить з дільниці дистиляції перед її подачею на гідратацію.

Згідно з вихідними даними продуктивність екстрактора (P_e) – 200 т/добу сої. Це загальна вага насіння, яке заходить на лінію щодня.

Вихід форпресової макухи ($m\phi$) становить 47,47% від маси насіння. Це те, що безпосередньо потрапляє в екстрактор після попереднього віджиму.

Соя містить в середньому 18-22% олії. Після пресування та екстракції ми отримуємо чистий продукт.

Вихідні дані для наступних розрахунків.

Добова кількість олії: 54,33 т/добу.

Годинна продуктивність ($G_{год}$): $\approx 2,3$ т/год.

Густина соєвої олії (ρ): 890 кг/м^3 (або $0,89 \text{ т/м}^3$).

Розрахунок об'єму:

Об'єм (V), який займає годинний запас продукту:

$$V = G_{год} / \rho = 2,30,89 \approx 2,58 \text{ м}^3$$

						Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Визначення геометричних розмірів:

Для ємності циліндричної форми при заданому радіусі $R = 1$ м (діаметр $D = 2$ м), робоча висота (Н) розраховується за формулою:

$$H = V / \pi \times R^2 = 2,58 / 3,14 \times 1^2 \approx 0,82 \text{ м}$$

Приймаємо конструктивні габарити з урахуванням запасу на піноутворення та коефіцієнта заповнення:

Діаметр: 2,0 м.

Висота (довжина): 1,0 м (з урахуванням еліптичних днищ).

Розрахунок ємності для гідратованої олії (ЕМ-1)

Дана ємність використовується для збору очищеної олії після сепаратора перед її фінальним підігрівом та гомогенізацією.

Методика розрахунку: Робочий об'єм ємності визначається за формулою:

$$V_{\text{заг}} = G_{\text{год}} \times \tau / \rho \times \phi$$

де: $G_{\text{год}}$ - годинна витрата олії (2,3 т/год);

τ - час перебування олії в ємності (приймаємо запас на 8 годин роботи для стабілізації потоку);

ϕ - коефіцієнт заповнення апарата (приймаємо 0,85);

ρ - густина олії (0,9 т/м³).

$$V_{\text{заг}} = 2,3 \times 80,9 \times 0,85 \approx 24,05 \text{ м}^3$$

Вибір обладнання: Згідно з нормами машинобудування для харчової промисловості, обираємо стандартну ємність типу ВПП (вертикальна з плоскими днищами) або стандартний сталевий резервуар:

Номінальний об'єм: 25 м³ (найближчий стандартний ряд).

Прийняті розміри (для бака 21-25 м³):

Діаметр (D): 3000 мм.

Висота/Довжина (L): 3500 мм.

Внутрішня поверхня (F_{вн}): $\approx 42 \text{ м}^2$.

						Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Конструкційний розрахунок екстрактора (Е-1)

Для горизонтального стрічкового або вертикального екстрактора головним параметром є робочий об'єм, який забезпечує необхідний час контакту сировини з розчинником.

Вихідні дані:

- Продуктивність по насінню: $P = 200$ т/добу.
- Коефіцієнт виходу макухи після пресування: $K = 0,4747$.
- Насипна маса макухи: $\rho_{\text{нас}} = 550 \text{ кг/м}^3 = 0,55 \text{ т/м}^3$.
- Тривалість екстракції: $\tau = 2,5$ год.
- Коефіцієнт заповнення апарата: $\phi = 0,75$.

Розрахунок:

Годинна продуктивність по сировині ($G_{\text{год}}$):

$$G_{\text{год}} = P \times K / 24 = 200 \times 0,4747 / 24 \approx 3,96 \text{ т/год}$$

Об'ємна годинна витрата ($V_{\text{год}}$):

$$V_{\text{год}} = G_{\text{год}} / \rho_{\text{нас}} = 3,96 / 0,55 = 7,2 \text{ м}^3/\text{год}$$

Робочий об'єм екстрактора ($V_{\text{роб}}$):

$$V_{\text{роб}} = V_{\text{год}} \times \tau = 7,2 \times 2,5 = 18 \text{ м}^3$$

Повний геометричний об'єм апарата ($V_{\text{заг}}$):

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{роб}} / \phi = 18 / 0,75 = 24 \text{ м}^3$$

Розрахунок шнекового конвеєра для шроту (КШ-1)

Шнек повинен забезпечувати безперервне відведення знежиреного шроту з екстрактора. Оскільки шрот після екстракції насичений розчинником, його об'єм більший за сухий.

Вихідні дані:

- Продуктивність по вологому шроту: $G_{\text{ш}} \approx 4,5$ т/год.
- Щільність вологого шроту: $\rho_{\text{ш}} = 600 \text{ кг/м}^3 = 0,6 \text{ т/м}^3$.
- Крок гвинта: $S = 0,8 \times D$.
- Коефіцієнт заповнення жолоба: $\psi = 0,3$ (для сипучих матеріалів).
- Частота обертання шнека: $n = 45$ об/хв.

Розрахунок:

						Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Необхідна об'ємна продуктивність ($V_{ш}$):

$$V_{ш} = G_{ш} / \rho_{ш} = 4,5 / 0,6 = 7,5 \text{ м}^3/\text{год}$$

Визначення діаметра шнека (D):

Використовуємо формулу продуктивності шнека:

$$V = 47 \times D^2 \times S \times n \times \psi \times C \text{ (де } C=1 \text{ для горизонтального).}$$

Підставляючи $S = 0,8D$:

$$V = 47 \times D^2 \times (0,8D) \times n \times \psi \rightarrow \approx 0,245 \text{ м}$$

Приймаємо найближчий більший стандартний діаметр шнека: $D = 320 \text{ мм}$.

Це забезпечує необхідний запас потужності у разі короткочасних перевантажень екстрактора.

Розрахунок поверхні теплообміну міцело підігрівача

Оскільки міцела (суміш олії та розчинника) повинна підігріватися перед дистиляцією, важливо розрахувати площу теплообмінника.

Розрахунок:

Якщо теплове навантаження з вашого теплового балансу $Q \approx 284 \text{ кВт}$:

Приймаємо коефіцієнт тепловіддачі для пластинчастого теплообмінника $K = 600 \text{ Вт (м}^2 \times \text{К)}$.

Середня різниця температур між паром (133°C) та міцелою (середня 50°C) $\Delta t_{сер} \approx 80 \text{ К}$.

Площа поверхні (F):

$$F = Q / K \times \Delta t_{сер} = 284000 / 600 \times 80 \approx 5,9 \text{ м}^2$$

Приймаємо пластинчастий теплообмінник з площею поверхні 8 м^2 (з урахуванням запасу на забруднення поверхонь).

3.5. Технохімічний контроль виробництва

Технохімічний контроль при рафінації та гідратації соєвої олії спрямований на забезпечення стабільності технологічного режиму, мінімізацію втрат жиру та гарантування високої якості кінцевого продукту згідно з ДСТУ.

Графік технохімічного контролю основних процесів.

						Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для зручності оперативного управління виробництвом точки контролю та показники зведено в таблицю 6.

Таблиця 6

Технохімічний контроль процесів гідратації та рафінації

Стадія процесу	Об'єкт контролю	Показники, що контролюються	Періодичність / Метод
Приймання олії	Олія екстракційна	Кислотне число, масова частка води, вміст фосфоліпідів	Кожна партія
Гідратація	Процес / Емульсія	Температура, витрата води, характер формування пластівців	Безперервно / Пробна гідратація
	Олія гідратована	Кислотне число, вологість, залишок фосфоліпідів, колірність	Кожні 2 години
Нейтралізація	Розчин NaOH	Концентрація лугу, температура	Перед подачею
	Олія нейтралізована	Кислотне число (залишкове)	Щогодини
Промивання	Олія після миття	Вміст мила (якісна проба з фенолфталеїном)	Безперервно
	Промивна вода	Масова частка жиру, рН середовища	Кожну зміну
Висушування	Процес / Олія	Вакуум, температура, відсутність води (якісно)	Безперервно (прилади)
Відбілювання	Процес / Сорбент	Температура, залишковий тиск, дозування глини, тиск фільтрації	За манометром / вакуумметром
	Олія відбілена	Колірність, прозорість, вміст мила, кислотне число	Після фільтр-преса
Дезодорація	Процес / Пара	Температура олії та пари, залишковий тиск (вакуум), витрата пари	Безперервно (самописці)
	Олія дезодорована	Органолептика (смак, запах, колір), кислотне число, вологість	Кожна партія

Також здійснюють контроль жировмісних відходів та побічних продуктів. Ефективність рафінації визначається рівнем втрат жиру у відходах. Контролю підлягають наступні позиції:

						Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Соапсток (мильний розчин):

- Загальна жирність (вміст жирних кислот та нейтрального жиру).
- Масова частка вільного гідроксиду натрію (надлишок лугу).

Відпрацьована відбілювальна глина:

- Масова частка затриманого жиру (для оцінки ефективності роботи фільтр-пресів).

Виробничі стічні води:

- Вміст жиру після жировловлювачів.
- Показник рН (контроль нейтральності середовища перед скиданням у каналізацію).

Жир із жировловлювачів:

- Кількість та масова частка жиру для оцінки загальних втрат по цеху.

Опис методів контролю за стадіями

1. Вхідний контроль сировини (Екстракційна олія)

Перед початком гідратації олія перевіряється на:

Кислотне число (КЧ): Визначає кількість вільних жирних кислот. Це критично для розрахунку кількості лугу при подальшій нейтралізації. Метод - титрування розчином КОН.

Вміст нежирових домішок: Визначає ефективність попереднього очищення.

Масова частка фосфоліпідів: Основний показник для розрахунку кількості води на гідратацію. Визначається шляхом спалювання наважки олії з подальшим колориметричним аналізом вмісту фосфору (P_2O_5).

2. Контроль процесу гідратації

Це найвідповідальніша стадія для вашого проекту: Якість пластівців: Лаборант проводить візуальну перевірку «на склі». Пластівці мають бути великими, з чітко вираженою межею розділу фаз. Якщо пластівці дрібні – необхідно змінити температуру або інтенсивність перемішування.

Ефективність виділення фосфоліпідів: В гідратованій олії вміст фосфоромістких речовин не повинен перевищувати 0,1-0,2% (у перерахунку на стеароолеолецитин).

					Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

3. Контроль процесу дистиляції та сушіння

Залишковий вміст розчинника: В екстракційній олії після дистилятора вміст бензину має бути 0% (спалах олії в закритому тиглі не повинен відбуватися при температурах до 225°C).

Колірне число: Визначається за шкалою йодних розчинів або на ловібонді. Соева олія має характерний темно-жовтий колір з зеленуватим відтінком (через хлорофіл), що контролюється на стадії відбілювання.

4. Карта критичних контрольних точок (ККТ) У сучасних системах управління якістю (ISO 22000 / HACCP) виділяють точки, де ризик втрати якості є найвищим:

Таблиця 7.

ККТ	Операція	Параметр ризику	Метод попередження
ККТ-1	Екстракція	Залишковий бензин у шроті/олії	Автоматичний контроль температури в дебензинізаторі
ККТ-2	Гідратація	Високий залишок фосфоліпідів	Контроль співвідношення «вода/олія»
ККТ-3	Дезодорація	Утворення трансізомерів	Обмеження температури пари до 230–250°C
ККТ-4	Фільтрація	Потрапляння відбілювальної глини в олію	Контроль прозорості та тиску на фільтр-пресі

Вимоги до якості кінцевого продукту (Соева олія)

Згідно з ДСТУ, готова соєва олія (рафінована дезодорована) повинна відповідати наступним нормам:

Прозорість: Повна, без відстою.

Смак та запах: Властиві соєвій олії, без сторонніх присмаків (особливо без запаху розчинника та затхлості).

Кислотне число: Не більше 0,4 мг КОН/г.

Перекисне число: Не більше 10 ммоль/кг півоксиду (показник свіжості та ступеня окислення).

Вологість та леткі речовини: Не більше 0,1%.

						Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

Будівля цеху з виробництва соєвої олії на лінії «Альфа Лаваль» спроектована з урахуванням специфіки екстракційного та рафінаційного виробництва, що вимагає значних висот для розміщення дистиляційних та сепараційних колон, а також суворого дотримання вимог пожежної безпеки.

Конструктивні особливості будівлі

Зважаючи на значну висоту будівлі та зосереджені навантаження від двотаврових колон, передбачається використання монолітних залізобетонних фундаментів стаканного типу. Під технологічне обладнання, що створює динамічні навантаження (зокрема центробіжні сепаратори «Альфа Лаваль»), запроектовані окремі масивні фундаменти, що не пов'язані з каркасом будівлі для запобігання передачі вібрацій.

Металевий каркас:

Колони: Виконані зі сталевих двотаврів за ДСТУ. Крок колон в осях 1-5 складає 6 метрів.

Жорсткість будівлі у поперечному та поздовжньому напрямках забезпечується системою вертикальних порталних зв'язків та горизонтальних зв'язків по фермах. Це критично важливо, враховуючи висоту будівлі 23,9 м та вітрове навантаження.

Антикорозійний захист: Оскільки у виробництві можливі випари та висока вологість, усі металоконструкції покриваються вогнезахисними та антикорозійними сумішами (емалі типу ПФ або епоксидні покриття).

Підлога в цеху запроектована безпилова, стійка до дії жирів та агресивних миючих засобів. Виконана з монолітного бетону з верхнім зміцненим шаром (топінг) або полімерним покриттям. Для забезпечення стоку рідин підлога має ухил 1-2% у бік трапів та каналізаційних лотків.

Пожежна та техногенна безпека

Будівля відноситься до категорії А (вибухопожежонебезпечна) через використання гексану/бензину в процесі екстракції. У зв'язку з цим реалізовані наступні архітектурні рішення:

					Арк. 52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

Роль легкоскридних конструкцій виконує засклення вікон та частково покрівельне покриття. Їх площа розрахована так, щоб у разі внутрішнього вибуху надлишковий тиск було скинуто без руйнування несучого каркаса.

Окрім внутрішніх технологічних сходів, передбачені зовнішні сталеві пожежні сходи для евакуації персоналу з верхніх відміток (майданчиків обслуговування).

Оскільки будівля є найвищою точкою на майданчику (майже 24 метри), передбачено влаштування блискавкозахисної сітки на покрівлі з приєднанням до контуру заземлення.

Конструктивні елементи будівлі

Вибір конструктивних елементів зумовлений висотністю будівлі (23,9 м), її категорією за вибухопожежною небезпекою («А») та значними технологічними навантаженнями від обладнання лінії «Альфа Лаваль».

Оскільки основне навантаження передається через колони каркаса, обрано наступну схему:

Монолітні залізобетонні фундаменти стовпчастого (стаканного) типу.

Визначається нижче рівня промерзання ґрунту з урахуванням геологічних вишукувань майданчика.

Фундаменти під обладнання: Особлива увага приділена сепараторам «Альфа Лаваль». Для них запроектовані індивідуальні масивні фундаменти, що мають віброізоляційні шви, які відмежовують їх від загальної підлоги та фундаментів будівлі. Це виключає передачу динамічних коливань на каркас споруди.

Стіни виконують роль огорожувальних конструкцій, що закріплені на металевому фахверку:

Тришарові «сендвіч»-панелі заводського виготовлення.

Параметри: Товщина 200 мм забезпечує стабільний температурний режим у цеху навіть у зимовий період (високий термічний опір R).

Пожежна безпека: Наповнювач – мінеральна вата (НГ – негорюча), що відповідає вимогам до будівель категорії А. Монтаж: Горизонтальна розкладка панелей висотою по 1200 мм кожна. Кріплення здійснюється самонарізними гвинтами до колон або прогонів каркаса.

						Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Покриття та покрівля. Дах будівлі спроектований за безгорищною схемою з внутрішнім або зовнішнім водовідведенням:

Несучі конструкції: Сталеві кроквяні ферми з паралельними поясами прольотом 12 м. Висота ферми 2,3 м забезпечує необхідну жорсткість для сприйняття снігового навантаження та ваги технологічних трубопроводів, що підвішуються до нижнього поясу.

Оцинкований тримальний профнастил з висотою хвилі не менше 57-75 мм.

Пароізоляція виконана з поліетиленової плівки для захисту утеплювача від дифузійної вологи зсередини цеху.

Теплоізоляційні плити з жорсткої мінеральної вати.

Фінішне покриття: ПВХ-мембрана або інше полімерне покриття, що забезпечує повну гідроізоляцію та стійкість до ультрафіолету

Схил формується за рахунок різної висоти опорних вузлів ферм або нахилу верхнього поясу для швидкого відведення дощових вод.

Враховуючи специфіку олійно-жирового виробництва усі сталеві елементи каркаса підлягають піскоструминному очищенню та покриттю двома шарами антикорозійної ґрунтовки.

Додатково наноситься вогнезахисний склад (фарба або штукатурка), що забезпечує межу вогнестійкості металоконструкцій згідно з класом будівлі.

Архітектурні рішення щодо розміщення отворів та шляхів сполучення спрямовані на забезпечення функціональності технологічного процесу «Альфа Лаваль», дотримання норм освітленості та енергоефективності будівлі.

Система природного освітлення створена для створення комфортних умов праці та економії електроенергії в денний час у цеху передбачено розвинену систему скління: Конструкція: Віконні прорізи розміром 3000 х 2400 мм. Використовуються металопластикові або алюмінієві профілі з двокамерними енергозберігаючими склопакетами.

Площа засклення обрана виходячи з нормативного значення КПО (коефіцієнта природної освітленості) для робіт середньої точності.

						Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Частина віконних блоків обладнана механізмами дистанційного відкривання для забезпечення природної припливно-витяжної вентиляції (аерації) цеху.

Прорізи в стіновому огороженні диференційовані за призначенням на експлуатаційні та технологічні:

Технологічні ворота: * В осях 4 А-Б та 4 Б-В встановлені розсувні ворота розміром 2000 x 3000 мм.

Призначення: Забезпечення можливості монтажу та демонтажу великогабаритного обладнання лінії (сепараторів, теплообмінників, елементів екстрактора) без порушення цілісності несучих конструкцій.

Двері для персоналу: * Зовнішні двері розміром 800 x 2100 мм обладнані пристроями для самозачинення (доводчиками) та ущільнювачами по периметру для запобігання тепловтратам.

Вхід до основного виробничого приміщення організований через галерею, що виконує роль теплового шлюзу:

Галерея шириною 2500 мм розташована в осях А 3-4.

Основна функція – терморегуляційна, запобігання прямому потраплянню холодного повітря у виробничу зону, що критично для підтримки стабільної температури процесу гідратації олії.

Санітарний бар'єр: Галерея розділяє «брудну» вуличну зону та «чисту» зону цеху, що відповідає вимогам харчової безпеки.

Інженерний коридор та простір галереї може використовуватися для прокладання магістральних комунікацій (трубопроводи пари, води, кабельні лотки) від будівлі загальнозаводського призначення.

Для забезпечення доступу до обладнання на різних рівнях висотної будівлі (23,9 м) передбачені внутрішні майданчикию Металеві ґратчасті підлоги (для вільного проходження повітря та світла).

Сталеві маршові сходи з кутом нахилу 45 °, що зв'язують всі технологічні яруси лінії «Альфа Лаваль».

						Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Майданчики для обслуговування (Антресолі) та внутрішні сходиВраховуючи значну висоту будівлі та багатоярусне розташування обладнання лінії «Альфа Лаваль», проектом передбачена розвинена система обслуговуючих конструкцій.

Конструктивне виконання майданчиків

Основний ярус майданчиків запроектований на відмітці +2,000 м від рівня чистої підлоги. Це забезпечує зручний доступ до верхніх люків сепараторів, арматури теплообмінників та приводів насосних агрегатів.

Несучий каркас майданчиків виконаний зі сталевих профілів (швелерів та кутників). Настил виконується з просічно-витяжного листа (ПВЛ), що запобігає ковзанню взуття та не затримує пил або випадкові проливи продукту.

Вимоги безпеки та огороження

Для захисту персоналу від падіння з висоти всі майданчики та сходи обладнуються захисними конструкціями:Висота огороження: Відповідно до норм охорони праці та ДСТУ, висота поручнів становить 1100 мм.

Бортове огороження: По нижньому краю майданчика обов'язково встановлюється суцільна бортова смуга висотою 150 мм, що унеможливило випадкове падіння інструментів або деталей на працююче обладнання знизу.

Конструкція огороження складається з поручня, проміжної горизонтальної планки на рівні 500-600 мм та стійок з кроком не більше 1200 мм.

Сходи для персоналу.

Ширина маршу сходів складає 800 мм, що дозволяє персоналу вільно переміщуватися, навіть у спеціальному одязі чи з інструментом.

Кут нахилу маршу 45° є оптимальним компромісом між безпекою підйому та економією робочого простору цеху. Сходинок виконуються з рифленої сталі для запобігання травматизму.

Санітарно-побутове забезпечення

Проектування побутових приміщень виконано з дотриманням принципу поточності та санітарного зонування, що є обов'язковим для підприємств олійно-жирової галузі.

						Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Адміністративно-побутовий корпус (АПК) винесений за межі основного виробничого об'єму в окрему будівлю або прибудову. Це рішення продиктоване пожежною безпекою (цех – категорія «А») та санітарними вимогами (унеможливлення потрапляння залишків розчинника чи жирів у зону відпочинку персоналу).

Допоміжні приміщення

Гардеробні організовані за типом санпропускника. Передбачено роздільне зберігання домашнього одягу та робочої спецівки (шафи з двома відділеннями), що відповідає стандартам НАССР.

Санітарно-гігієнічний блок включає душові сітки (з розрахунку на чисельність зміни) та санвузли. Оздоблення стін виконане керамічною плиткою на всю висоту для полегшення дезінфекції.

Кімната для прийому їжі: Обладнана всім необхідним інвентарем. Знаходження в цій зоні у робочому спецодязі заборонено.

Кімната персоналу: Призначена для оперативного керування процесами, проведення інструктажів, змінних нарад та короткочасного відпочинку операторів лінії.

						Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення безпеки людини у виробничих умовах олійно-жирового підприємства є пріоритетним завданням, оскільки технологічний процес пов'язаний із використанням легкозаймистих розчинників, високих температур та тиску. Метою даного розділу є проектування системи безпеки, що мінімізує ризики травматизму та професійних захворювань при експлуатації лінії «Альфа Лаваль».

5.1. Загальні питання охорони праці на підприємстві.

Ефективність заходів із запобігання травматизму безпосередньо залежить від організаційної підготовки виробництва, кваліфікації фахівців та регулярного аналізу стану безпеки.

Показники виробничого травматизму

Для оцінки рівня безпеки та динаміки травматизму на підприємстві використовують статистичні методи аналізу з розрахунком відносних показників: Коефіцієнт частоти травматизму (Кч):

Визначає кількість потерпілих на 1000 працюючих за звітний період.

$$Kч = n_1 \times 1000 / n_p$$

де: n_1 - кількість потерпілих із втратою працездатності на термін понад 3 дні (включаючи випадки зі смертельним наслідком);

n_p - середньооблікова чисельність працівників.

Коефіцієнт важкості травматизму (Кв): Характеризує середню тривалість непрацездатності, що припадає на один нещасний випадок.

$$Kв = D_n / n_2$$

де: D_n - сумарна кількість людино-днів непрацездатності за звітний період;

n_2 - кількість потерпілих (без урахування загиблих).

Аналіз причин виробничого травматизму

В умовах екстракційного виробництва причини нещасних випадків класифікуються на:

Технічні – Несправність запобіжних клапанів на дезодораторах та дистиляторах. Порушення герметичності фланцевих з'єднань на лінії подачі

						Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

бензину/гексану. Відсутність або несправність заземлення металевого каркаса будівлі та обладнання.

Організаційні – допуск до роботи персоналу без проходження спеціального навчання (ПТМ - пожежно-технічний мінімум). Порухення графіків планово-попереджувальних ремонтів (ППР).

Виконання газонебезпечних робіт без оформлення наряду-допуску.

Санітарно-гігієнічні – перевищення ГДК (гранично допустимих концентрацій) парів розчинника в робочій зоні.

Недостатня освітленість майданчиків обслуговування на верхніх ярусах (відмітка +20.000 м).

Заходи щодо попередження травматизму на лінії «Альфа Лаваль»

Для забезпечення безаварійної роботи потужністю 200 т/добу передбачаються наступні заходи:

Автоматизація – встановлення датчиків довибухових концентрацій (ДДК) газів із виведенням сигналу на пульт оператора та автоматичним увімкненням аварійної вентиляції.

Механізація – використання шнеків та насосів виключає ручну працю при переміщенні гарячої олії та вологого шроту.

Індивідуальний захист – забезпечення персоналу спецодягом з антистатичних тканин, що не накопичують електростатичний заряд.

Отже, створення безпечних умов праці досягається шляхом інтеграції систем безпеки безпосередньо в технологічний цикл, що є запорукою стабільної та безперебійної роботи всього олійно-жирового комбінату.

5.2. Організаційні і технічні заходи з охорони праці

5.2.1. Організація навчання та інструктажів

На підприємстві встановлено чітку систему інструктажів:

- вступний: проводиться інженером з охорони праці для всіх новоприйнятих працівників.

						Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- первинний: проводиться безпосередньо на робочому місці керівником робіт перед початком виконання обов'язків.
- повторний: проводиться кожні 6 місяців для закріплення знань.
- позаплановий: при заміні обладнання лінії «Альфа Лаваль», зміні техпроцесу або після нещасних випадків.
- цільовий: при виконанні разових робіт (ліквідація аварії, ремонт за нарядом-допуском).

5.2.2. Санітарно-гігієнічні вимоги та виробнича санітарія

Для цеху потужністю 200 т/добу встановлені такі нормативи мікроклімату:

Температура: 18-20°C;

Відносна вологість: 60 – 65 %;

Шум: не більше 80 дБ (використання малошумних сепараторів та ізоляція приводів).

Кольорове оформлення – для зниження зорової втоми застосовується кольорове кодування згідно з ДСТУ.

Стіни/стеля: білий (максимальне світловідбиття).

- червоний: кнопки «стоп», внутрішні частини огорож (небезпека).
- жовтий: рухомі частини механізмів, попередження.
- зелений: безпечні зони, кнопки пуску

5.2.3. Розрахунок штучного освітлення

Для забезпечення нормованої освітленості $E = 300$ лк використовуємо метод світлового потоку.

Індекс приміщення (i):

$$i = a \times b / H_p \times (a + b) = 24 \times 12 / 3,5 \times (24 + 12) \approx 2,28$$

де a, b - габарити цеху (24 x 12 м),

H_p - висота підвісу (3,5 м).

Світловий потік однієї лампи (Φ):

$$\Phi = E \times S \times K / n \times \eta = 300 \times 288 \times 1,3 / 40 \times 0,5 \approx 5616 \text{ лм}$$

Приймаємо до встановлення 20 світильників (по 2 лампи ЛБ-80 у кожному), що забезпечує рівномірне освітлення всіх рівнів обладнання.

						Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

5.2.4. Розрахунок захисного заземлення

Заземлення є основним заходом захисту від ураження струмом при пошкодженні ізоляції.

Опір одиночного вертикального заземлювача (R_c):

$$R_c = \rho / L_{ст} = 100 / 3 \approx 33,3 \text{ Ом}$$

де $\rho = 100 \text{ Ом м}$ (питомий опір ґрунту),

$L_{ст} = 3 \text{ м}$ (довжина стрижня).

Кількість заземлювачів (n):

З урахуванням коефіцієнта використання ($\eta \approx 0,7$) та допустимого опору $R_n = 4 \text{ Ом}$:

$$n = R_c / R_n \times \eta = 33,3 / 4 \times 0,7 \approx 12 \text{ шт.}$$

Приймаємо контур із 12 вертикальних стрижнів, з'єднаних сталевною смугою.

5.2.5. Інструкція з безпеки праці (основні положення)

Допускаються особи віком від 18 років із медичним оглядом та спецнавчанням.

Заборонено працювати без заземлення та на несправному обладнанні.

Перед початком роботи одягти чистий спецодяг, прибрати кінці, що звисають. Перевірити цілісність фланцевих з'єднань на лінії подачі розчинника. Перевірити наявність та справність КВП (манометрів, термометрів). Під час роботи подачу сировини проводити рівномірно (8,33 т/год). Заборонено чистити та змащувати рухомі частини під час їх роботи. При виявленні витoku міцели або олії - негайно зупинити насос.

В аварійних ситуаціях при появі запаху гару або іскріння - натиснути кнопку «СТОП» та знеструмити лінію. При виникненні пожежі використовувати вуглекислотні вогнегасники (заборонено гасити електрообладнання водою).

5.2.6. Вентиляція та аерація

Для видалення парів розчинника (бензину/гексану) та надлишкового тепла передбачена: Загальнообмінна вентиляція: забезпечує 8-кратний обмін повітря. Місцеві відсмоктувачі розташовані над сепараторами та вузлами вивантаження

						Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

шроту. Аварійна вентиляція: вмикається автоматично при досягненні 20% від нижньої межі вибуховості парів у повітрі.

						Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ.

Розвиток олійно-жирової галузі України на сучасному етапі вимагає не лише збільшення обсягів виробництва, а й дотримання високих стандартів якості для забезпечення конкурентоспроможності на зовнішніх ринках. Реконструкція комбікормового заводу під виробництво соєвої олії з використанням сучасної лінії «Альфа Лаваль» дозволяє досягти високого ступеня автоматизації та знизити собівартість продукції за рахунок ефективного вилучення олії та виробництва високоякісного гранульованого шроту.

6.1. Розрахунок річної потужності заводу

Визначення виробничої потужності базується на максимальній добовій продуктивності встановленого обладнання та річному фонді робочого часу.

Вихідні дані:

Максимальна добова продуктивність (П): 225 т/добу (прийнято з урахуванням запасу потужності лінії).

Річний фонд робочого часу ($T_{\text{ЕФ}}$): 280 діб.

Режим роботи: Безперервне виробництво, двозмінний графік.

Час на капітальний ремонт: 30 діб.

Час на профілактичне обслуговування: 55 діб (сумарно з технологічними зупинками). Річний об'єм переробки (М):

$$M = P \times T_{\text{ЕФ}} = 225 \times 280 = 63000 \text{ т/рік}$$

Цей показник характеризує потенційну здатність підприємства переробляти насіння сої за умови повного завантаження обладнання.

6.2. Виробнича програма (Об'єм продажу)

Виробнича програма (Пр) визначає фактичний обсяг випуску готової продукції з урахуванням коефіцієнта використання обладнання, який враховує технологічні простої та нерівномірність постачання сировини.

Розрахунок:

$$Pr = M \times K_{\text{інт}}$$

де $K_{\text{інт}}$ - коефіцієнт інтенсивного використання обладнання (приймаємо 0,9).

$$Pr = 63000 \times 0,9 = 56700 \text{ т/рік}$$

						Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таким чином, реальний річний обсяг переробки сировини складе 56 700 тонн.

6.3. Баланс виходу готової продукції

Враховуючи потужність у 56 700 т/рік по сировині, розрахуємо орієнтовний вихід основних товарних продуктів (соевої олії та шроту):

Таблиця 8

Найменування продукту	Вихід у % від маси сировини	Річний обсяг випуску, т
Олія соєва (сумарна)	18%	10206
Шрот соєвий гранульований	79%	44793
Фосфоліпідний концентрат	1,50%	850
Втрати та відходи	1,50%	851
РАЗОМ	100%	56700

Впровадження нової технологічної лінії «Альфа Лаваль» на базі реконструйованого заводу дає наступні переваги:

Завдяки глибокій екстракції та зменшенню людського фактора через автоматизацію.

Використання сучасних теплообмінників та систем рекуперації тепла знижує витрати пари та електроенергії на одиницю продукції.

Отримання гранульованого шроту значно підвищує його вартість на ринку кормів у порівнянні з негранульованим.

Отже, запропонована реконструкція дозволяє підприємству вийти на рівень переробки 56,7 тис. тонн сої на рік, що робить його конкурентоспроможним гравцем на регіональному ринку олійно-жирової продукції та забезпечує швидку окупність вкладених капітальних інвестицій.

6.4. Витрати виробництва

Розрахунок потреби у матеріальних ресурсах на запланований об'єм продукції (56700 т/рік) проводиться за формулою:

$$P_{ji} = H_{ji} \times V_i$$

де H_{ji} - питома норма витрат,

V_i - річний обсяг виробництва.

						Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 9

Потреба у сировині та енергоресурсах (ціни станом на 2026 р.)

Назва компоненту	Од. вим.	Норма на 1 т	Ціна, грн/од	Витрата на рік	Затрати на рік, тис. грн
1. Сировина					
Насіння сої	т	2,5	18500	141750	2622375
Екстракційний бензин	т	0,008	52000	453,6	23587,2
Разом сировина	-	-	-	-	2645962,2
2. Енергоресурси					
Електроенергія	кВт/год	70	9,5	3969000	37705,5
Пара (технологічна)	Гкал/т	1,6	2800	90720	254016
Вода	м ³	8	45	453600	20412
Разом енергія	-	-	-	-	312133,5

6.5. Калькуляція собівартості та ціни

У 2026 році частка енерговитрат та заробітної плати в структурі собівартості зросла. Також враховано актуальні ставки ЄСВ та адміністративні витрати.

Таблиця 10

Калькуляція собівартості та оптової ціни (річний обсяг)

Статті витрат	Затрати на 1 т, грн	Всього на рік, тис. грн
1. Матеріальні витрати (сировина)	46666	2645962,2
2. Попутна продукція (шрот та ін.)*	-12000	-680400
3. Енерговитрати (електроенергія, вода, пара)	5505	312133,5
4. Заробітна плата основних працівників	850	48195
5. Нарахування на з/п (ЄСВ 22%)	187	10602,9
6. Загальновиробничі витрати	420	23814
Виробнича собівартість	41628	2360307,6
7. Адміністративні витрати та витрати на збут (5%)	2081,4	118015,4
Повна собівартість	43709,4	2478323
8. Прибуток (15%)	6556,4	371748,5
Оптова ціна підприємства (без ПДВ)	50265,8	2850071,5
9. ПДВ (20%)	10053,2	570014,3
Відпускна ціна з ПДВ	60319	3420085,8

6.6. Розрахунок вартості устаткування.

Вартість лінії «Альфа Лаваль» та супутнього обладнання розрахована з урахуванням курсу валют та витрат на митне очищення.

Таблиця 11.

Вартість основного технологічного устаткування

Найменування устаткування	К-сть	Ціна за од., тис. грн	Вартість, тис. грн
Екстракційна установка (в зборі)	1	18 500	18 500
Тостер-дистилятор (ДТ)	1	9 200	9 200
Випарні апарати (дистилятори міцели)	3	3 800	11 400
Адсорбційно-десорбційна установка	1	7 400	7 400
Бензороздільник та система рекуперації	1	4 200	4 200
Охолоджувач олії та шроту	1	2 500	2 500
Транспортні засоби цеху (конвеєри, норії)	-	30% від п.1	5 550
Всього основне обладнання	-	-	58 750
Невраховане обладнання (КВП, арматура)	-	20% від всього	11 750
РАЗОМ вартість устаткування	-	-	70 500

6.7 Розрахунок штату виробничих працівників

Оскільки лінія «Альфа Лаваль» потребує переважно дистанційного контролю з пульта керування, кількість операторів мінімізована.

Таблиця 12

Штатний розклад виробничого персоналу

Посада	Зміна (чол.)	К-сть змін	Списковий склад (чол.)*
Начальник цеху	1	1	1
Старший змінний майстер (технолог)	1	2	2
Оператор пульта керування (екстракція)	1	2	3
Апаратник екстракції	1	2	3
Слюсар-ремонтник / черговий механік	1	2	2
Лаборант хімічного аналізу	1	2	2
Комірник / вантажник (шрот/олія)	2	2	5
РАЗОМ	8	-	18

						Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

*Списковий склад враховує резерв на відпустки та лікарняні (коефіцієнт ~1,1-1,15).

Проведемо розрахунок річного фонду заробітної плати (ФЗП). Враховуємо рівень заробітних плат станом на 2026 рік для промислового сектору України.

Таблиця 13.

Розрахунок витрат на оплату праці

Категорія персоналу	К-сть осіб	Сер. з/п на міс. (грн)	Річний ФЗП (тис. грн)
Адміністративно-технічний персонал	3	45 000	1 620
Виробничий персонал (кваліфікований)	10	32 000	3 840
Допоміжний персонал	5	22 000	1 320
Разом чистий ФЗП	18	-	6 780
Нарахування на ФЗП (ЄСВ 22%)	-	-	1 491,60
ЗАГАЛЬНІ ВИТРАТИ НА ПЕРСОНАЛ	-	-	8 271,60

Продуктивність праці, це показник який демонструє обсяг продукції, що виробляється одним працівником за рік.

$$Ппраці = Пр / Чзаг$$

де Пр - річний обсяг виробництва (56700 т)

Чзаг - загальна чисельність працівників (18 чол.)

$$Ппраці = 56700 / 18 = 3150 \text{ тонн/людину на рік}$$

Отже, розрахований високий показник продуктивності праці (3150 т/люд.) підтверджує ефективність використання автоматизованої лінії «Альфа Лаваль». Це дозволяє підприємству тримати фонд оплати праці на рівні лише ~0,3% від загальної собівартості продукції, що є вагомою конкурентною перевагою на ринку.

6.8. Капітальні витрати на реалізацію проекту

Капітальні витрати включають не лише закупівлю, а й підготовку об'єкта до експлуатації.

						Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 14

Стаття витрат	Розрахунок	Сума, тис. грн
1. Вартість устаткування	Згідно з табл. 7.3	70 500
2. Транспортування та логістика	5% від вартості	3 525
3. Монтажні та пусконаладжувальні роботи	15% від вартості	10 575
4. Комунікації, КВП та автоматизація	25% від вартості	17 625
5. Спеціальні роботи (фундаменти, захист)	10% від вартості	7 050
Всього по обладнанню	-	109 275
6. Будівлі та споруди (реконструкція)	57% від вартості обладн.	62 287
ЗАГАЛЬНІ КАПІТАЛЬНІ ВИТРАТИ	Сума п.5 + п.6	171 562

Розрахунок показників рентабельності

Для розрахунку використаємо наступні дані:

Повна собівартість річного випуску (С): 2478323,0 тис. грн.

Річний обсяг продажів без ПДВ (В): 2850071,5 тис. грн.

Річний прибуток (Р): 371748,5 тис. грн.

Капітальні витрати (К): 171562,0 тис. грн.

1. Рентабельність продукції (R_{пр}). Цей показник демонструє ефективність витрат на виробництво.

$$R_{\text{пр}} = (P / C) \times 100 \%$$

$$R_{\text{пр}} = (371748,5 / 2478323,0) \times 100 \% \approx 15,0 \%$$

Це означає, що на кожну гривню, витрачену на виробництво олії, підприємство отримує 15 копійок чистого прибутку.

2. Рентабельність продажу (R_{об})

Показник відображає частку прибутку в кожній гривні виручки.

$$R_{\text{об}} = (P / B) \times 100 \%$$

$$R_{\text{об}} = (371748,5 / 2850071,5) \times 100 \% \approx 13,0 \%$$

3. Рентабельність капітальних вкладень (інвестицій) (R_{інв})

Показує ефективність використання вкладених у реконструкцію коштів.

$$R_{\text{інв}} = (P / K) \times 100 \%$$

$$R_{\text{інв}} = (371748,5 / 171562,0) \times 100 \% \approx 216,7 \%$$

						Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Такий високий показник характерний для проектів реконструкції, де основна інфраструктура вже існує, а нове обладнання («Альфа Лаваль») різко підвищує вихід готової продукції.

6.7. Термін окупності проекту (Ток)

Термін окупності – це час, за який прибуток від реалізації продукції повністю покриє капітальні витрати на реконструкцію.

$$T_{ок} = K / P$$

$$T_{ок} = 171562,0 / 71748,5 \approx 2,39 \text{ роки}$$

У календарних днях: $2,39 \times 365 \approx 872$ дні.

6.7 Підсумкові техніко-економічні показники .

На основі проведених розрахунків (розділи 6.1-6.6) сформовано фінальну таблицю показників проекту.

Таблиця 15

Показник	Значення
Річний обсяг випуску (переробка сировини)	56 700 т/рік
Загальні капітальні витрати	171 562 тис. грн
Повна собівартість 1 тонни продукції	43 709,4 грн
Відпускна ціна 1 тонни (з ПДВ)	60 319,0 грн
Річний чистий прибуток (орієнтовно)	371 748 тис. грн
Чисельність працівників	18 чол.
Рентабельність продукції (Rпр)	15 %
Термін окупності проекту	~2,39 роки

Аналіз техніко-економічних показників свідчить про високу доцільність реконструкції цеху. Незважаючи на значні капітальні витрати у 2026 році (близько 171,5 млн грн), проект демонструє надзвичайно високу рентабельність.

Це зумовлено насамперед.

Ефективністю лінії «Альфа Лаваль», яка забезпечує мінімальні втрати розчинника та високу якість олії.

Високим попитом на соєву олію та шрот (високопротеїновий корм) на внутрішньому та зовнішньому ринках.

						Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Швидкою окупністю, що характерно для переробної промисловості при стабільній сировинній базі.

Проект відповідає нормам МОЗ України, вимогам охорони праці та сучасним стандартам енергоефективності.

						Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

7. ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі розроблено технічні та технологічні рішення щодо організації виробництва соєвої олії на базі сучасної лінії фірми «Альфа Лаваль» продуктивністю 200 т/добу. За результатами проведеного проектування можна зробити наступні висновки:

Обґрунтовано та впроваджено схему прямої екстракції з використанням новітнього обладнання, що дозволяє досягти високого ступеня вилучення олії та отримати шрот із мінімальним вмістом залишкового розчинника. Огляд вітчизняного та зарубіжного досвіду підтвердив, що обрана технологія дезодорації та дистиляції є найбільш енергоефективною станом на 2026 рік.

На підставі матеріальних балансів визначено параметри сировинних потоків та енергоресурсів.

Виконано теплові баланси стадії дезодорації, що дозволило оптимізувати витрати пари та холодоагенту.

Розроблено компонування обладнання в будівлі ангарного типу (висотою 23,9 м), що забезпечує раціональне використання виробничої площі та можливість самопливу міцели.

Проект забезпечує річну переробку 56 700 тонн насіння сої. Прийняті технологічні рішення дозволяють стабільно отримувати високоякісну рафіновану олію, гранульований шрот із покращеними логістичними характеристиками та фосфоліпідний концентрат.

Встановлено, що повна собівартість 1 тонни соєвої олії з урахуванням цін 2026 року становить 43 709,4 грн.

Відпускна ціна з ПДВ визначена на рівні 60 319,0 грн.

Рентабельність інвестицій у реконструкцію складає 216,7%, а термін окупності капітальних витрат не перевищує 6 місяців, що свідчить про надзвичайно високу фінансову привабливість проекту.

У роботі впроваджено комплексні заходи з охорони праці, пожежної безпеки (категорія «А») та автоматичного контролю довибухових концентрацій парів

					Арк. 71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

розчинника. Максимальна автоматизація процесу мінімізує вплив людського фактора та знижує ризик виробничого травматизму.

Результати роботи можуть бути використані як при повній реконструкції існуючих комбікормових чи олійних заводів, так і при будівництві нових потужностей. Впровадження розробленої технології дозволяє підприємству вийти на міжнародні ринки з продукцією, що відповідає стандартам ISO та HACCP.

						Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

8. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Власенко В.В. Інтенсифікування екстрагування в технології виробництва рослинних олій. Монографія. / В.В. Власенко, В.М. Бандура, Л.М. Коляновська. Вінниця, РВВ ВНАУ, 2016. 203 с.
2. Галух Б.І Паска М.З., Басараб І.М., Драчук У.Р.. Ромашко І.С (2017). Основи промислового будівництва і санітарної техніки. Навчальний посібник. Львів, 84 стр
3. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. К. : ДП «Укрархбудінформ», 2017. 47 с.
4. ДБН В.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. К.: Мінрегіон України, 2019. 189 с.
5. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. К. : Мінрегіон України, 2018. 134 с.
6. ДСТУ 4534:2006. Олія соєва. Технічні умови. К. : Держспоживстандарт України, 2006. 14 с.
7. ДСТУ EN 60079-10-1:2016. Вибухонебезпечні середовища. Класифікація зон. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 82 с.
8. ДСТУ ISO 22000:2019 (ISO 22000:2018, IDT). Системи управління безпечністю харчових продуктів. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2019. — 42 с.
9. Закон України «Про охорону праці». К. : Відомості Верховної Ради (ВВР), 1992. (з останніми змінами та доповненнями станом на 2025 р.). 35 с.
10. Levchuk, I., Demidov I. and Timchenko, V. (2016). Технологічні аспекти запровадження системи безпечності харчових продуктів у схеми техноіміконтролю сировини і готової продукції олієжирових виробництв. (29), pp.81-84.
11. Лозовський А.П., Іванов О.М., Самойленко Т.В. Основи технологічного проєктування промислових підприємств переробних галузей. Харків: Університетська книга, 2025. 320 с. S N: 978-966- 680-723-9.
12. НПАОП 0.00-1.80-18. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання під тиском. К. : Форт, 2018. 64 с.

					Арк. 73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	

13. НПАОП 15.4-1.06-97. Правила безпеки для олійно-жирового виробництва. К. : Держнаглядохоронпраці України, 1997. 120 с.

14. Технологія жирів та жирозамінників: тексти лекцій (частина друга) для здобувачів вищої освіти за освітньою програмою «Харчові технології та інженерія» (освітній ступінь бакалавр) всіх форм навчання / Укл.: Гуменюк О.Л. Чернігів: НУ »Чернігівська політехніка», 2022. 92 с

15. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., ДЕНИСОВА А.Є., ДЕМИДОВ І.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. 2-ге видання, перероблене. К.: ЦНЛ, 2016. 470 с.

16. Федорів В. М., Стечишин М. С., Мартинюк А. В., Медведчук Н. К. Проєктування підприємств харчової промисловості: навч.посіб. Хмельницький: ХНУ, 2025. 394с.

17. Фесун Т.П. (2019) Олійно-жирова промисловість: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід. Київ, НУХТ. 185 с.

18. Чумак О.П., Гладкий Ф.Ф. Науково-практичні основи технології жирів та жирозамінників. Харків: НТУ «ХП», 2015. 185 с.

19. Шеманська Є.І, Радзієвська І.Г. (2020) Технології рослинних олій, жирових і косметичних продуктів//: Навч. посіб. К.: НУХТ. 2020, 122-130 с.

20. Alfa Laval Technology. Vegetable Oil Processing: Refining and Modification Handbook. Lund : Alfa Laval Press, 2021. 184 p.

21. Decker EA, Villeneuve P. Impact of processing on the oxidative stability of oil bodies. Crit Rev Food Sci Nutr. 2024;64(17):6001-6015. doi:10.1080/10408398.2022.2160963.

22. Duan L, An X, Pan X, Li R, Wang K, Guo L, Zhang B, Dong F, Xiang W, Wu X, Xu J, Zheng Y. Residual levels of five pesticides in peanut oil processing and chips frying. J.Sci.Food.Agric. 2022 Apr; 102(6):2494-2499. doi:10.1002/jsfa.11590.

23. Kong W, Baeyens J, Qin P, Zhang H, Tan T. Towards an energy-friendly and cleaner solvent-extraction of vegetable oil. J Environ Manage. 2018 Jul 1; 217:196-206. doi:10.1016/j.jenvman.2018.03.061.

						Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

24. Rangaswamy S, Kumar GS, Kuppusamy C. Membrane technology for vegetable oil processing-Current status and future prospects. Compr Rev Food Sci Food Saf. 2021 Sep;20(5):5015-5042. doi: 10.1111/1541-4337.12825.

25. Santos J, Calero N, Trujillo-Cayado LA, Martín-Piñero MJ, Muñoz J. Processing and Formulation Optimization of Mandarin Essential Oil-Loaded Emulsions Developed by Microfluidization. Materials (Basel). 2020 Aug 7;13(16):3486. doi: 10.3390/ma13163486.

26. Tan CH, Lee CJ, Tan SN, Poon DTS, Chong CYE, Pui LP. Red Palm Oil: A Review on Processing, Health Benefits and Its Application in Food. J Oleo Sci. 2021 Sep 4;70(9):1201-1210. doi: 10.5650/jos.ess21108.

						Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		