

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет) ННІХТ
Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових
добавок та косметичних засобів**

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту(декан факультету) ННІХТ

_____ Оксана КОЧУБЕЙ –ЛИТВИНЕНКО

(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

« ____ » _____ 2025р.

Завідувачка кафедри ТЖХТ

_____ Тамара НОСЕНКО

(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

« ____ » _____ 2025р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності: 181 «Харчові технології»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми: «Технології рослинних олій, жирових та косметичних продуктів»

на тему: Удосконалення технології переробки насіння сої із виробництвом соєвої олії

Виконав(-ла): здобувач(ка)

курсу, групи ТЖ-2-3М

КАЙДУН Антон Андрійович

(ПРІЗВИЩЕ, ІМ'Я, ПО БАТЬКОВІ ПОВНІСТЮ)

_____ (підпис)

Керівник: НОСЕНКО Тамара Тихонівна

(ПРІЗВИЩЕ, ІМ'Я ТА ПО БАТЬКОВІ ПОВНІСТЮ)

_____ (підпис)

Консультанти _____

(ПРІЗВИЩЕ Ім'я)

_____ (підпис)

Рецензент ГАЦУК Олександра

(ПРІЗВИЩЕ Ім'я)

_____ (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач (ка) _____

(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 181 «Харчові технології»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Технології рослинних олій, жирових та косметичних продуктів»

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри ТЖХТ

Тамара НОСЕНКО

“ _____ ” _____ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Кайдуня Антона Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології переробки насіння сої із виробництвом соєвої олії

керівник роботи д.т.н., професор Носенко Тамара Тихонівна _____

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» жовтня 2025 р. № 832-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Олійність насіння сої – 19,5 %, Вологість насіння -12, 3 %, загальна засміченість насіння – 3,8 %.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ; Розділ 1 Науково-дослідна частина; 1.1. Аналіз літературних джерел; 1.2. Обґрунтування необхідності науково-дослідної роботи; 1.3. Експериментальна частина; 1.3.1. Матеріали дослідження. Опис методик проведення дослідження; 1.3.2. Результати досліджень та їх аналіз; 1.3.3. Висновки за результатами наукових досліджень; Розділ 2 Технологічна частина; 2.1. Обґрунтування та вибір асортименту продукції; 2.2 Аналіз й вибір технологічних схем; 2.3. Розрахунок сировини, готової продукції та допоміжних матеріалів; 2.4. Аналіз, підбір, обґрунтування і розрахунок кількості обладнання; 2.5. Заходи щодо енерго- та ресурсозбереження для забезпечення сталого розвитку; 2.6. Розрахунок виробничих площ; 2.7. Організація виробничого потоку; 2.9. Технохімічний контроль та менеджмент якості виробництва; Розділ 3 Охорона праці, Розділ 4 Система екологічного управління ; Розділ 5 Техніко-економічне обґрунтування технічних рішень; Висновки; Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Удосконалена апаратурно-технологічна схема з позначенням технологічних потоків та специфікацією обладнання 2 аркуші.

2. План ділянки підготовки матеріалу до екстрагування з компоновкою обладнання (масштаб 1:100) - 1 аркуш.

3. Розріз виробничої будівлі - 1 аркуш.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 7 жовтня 2025 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
ВСТУП	1.10.2025	‘
РОЗДІЛ 1. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА		
1.1.Аналіз літературних джерел	2.10.2025	
1.2.Обґрунтування необхідності науково-дослідної роботи	8.10.2025	
1.3.Експериментальна частина		
1.3.1. Матеріали дослідження. Опис методик проведення досліджень.	10.10.2025	
1.3.2. Результати досліджень та їх аналіз	12.10.2025	
1.3.3. Висновки за результатами наукових досліджень	14.10.2025	
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА		
2.1. Обґрунтування та вибір асортименту продукції	16.10.2025	
2.2. Аналіз й вибір технологічних схем	18.10.2025	
2.3. Розрахунок сировини, готової продукції та допоміжних матеріалів	20.10.2025	
2.4. Аналіз, підбір, обґрунтування і розрахунок кількості обладнання	28.10.2025	
2.5. Заходи щодо енерго- та ресурсозбереження	30.10.2025	
2.6. Розрахунок виробничих площ	05.11.2025	
2.7. Організація виробничого потоку	08.11.2025	
2.8. Технохімічний контроль та менеджмент якості виробництва	10.11.2025	
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	12.11.2025	
РОЗДІЛ 4 СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ		
РОЗДІЛ 5. ТЕО ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	16.11.2025	
ВИСНОВКИ	18.11.2025	
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	20.11.2025	
ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	21.11.2025- 29.11.2025	

Здобувач _____ Антон КАЙДУН
(підпис)

Керівник роботи _____ Тамара НОСЕНКО
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Розрахунково-пояснювальна записка до магістерської роботи складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

Метою магістерської роботи є обґрунтування доцільності удосконалення технології переробки насіння сої із виробництвом соєвої олії.

У магістерській роботі обґрунтовано доцільність удосконалення технології переробки насіння сої шляхом впровадження процесу експандування перед стадією екстракції. Проведено аналітичний огляд сучасного стану олійно-жирової галузі та існуючих методів переробки сої.

У науково-дослідній частині досліджено вплив параметрів підготовки сировини (вологості, ступеня подрібнення, пористості експандату) на ефективність вилучення олії та якісні показники шроту. Доведено, що використання експандера дозволяє підвищити дренажну здатність матеріалу, скоротити тривалість екстракції та зменшити залишкову олійність шроту до 0,5–0,8%.

У технологічній частині виконано розрахунок продуктового балансу для заводу потужністю 1000 т/добу (вихідні дані: олійність 19,5%, вологість 12,3%). Розроблено апаратурно-технологічну схему з використанням сучасного обладнання (дробарки, плющильні станки, експандер). Розраховано виробничі площі, підібрано допоміжне обладнання. Розглянуто питання охорони праці, екологічної безпеки та наведено техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень.

Ключові слова: СОЄВЕ НАСІННЯ, ПЕРЕРОБКА СОЇ, СОЄВА ОЛІЯ, ЕКСПАНДУВАННЯ, ШРОТ, ЕКСТРАКЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЯ,

ANNOTATION

The explanatory note to the master's thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, and a list of references.

The aim of the master's thesis is to substantiate the feasibility of improving the technology of soybean processing with the production of soybean oil.

The master's thesis substantiates the feasibility of improving soybean processing technology by introducing the expansion process before the extraction stage. An analytical review of the current state of the oil and fat industry and existing soybean processing methods has been conducted.

In the research part, the influence of raw material preparation parameters (moisture content, degree of grinding, porosity of the expandate) on the oil extraction efficiency and quality indicators of the meal was investigated. It is proved that the use of an expander allows increasing the drainage capacity of the material, shortening the extraction duration, and reducing the residual oil content of the meal to 0.5–0.8%.

In the technological part, the calculation of the product balance for a plant with a capacity of 1000 tons/day was performed (initial data: oil content 19.5%, moisture 12.3%). A hardware-technological scheme using modern equipment (crushers, flaking mills, expander) was developed. Production areas were calculated, and auxiliary equipment was selected. Issues of occupational safety, environmental safety were considered, and a technical-economic justification of the adopted decisions was given.

Key words: SOYBEAN SEEDS, SOYBEAN PROCESSING, SOYBEAN OIL, EXPANSION, MEAL, EXTRACTION, TECHNOLOGY.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	
1.1. Аналітичний огляд науково-технічної та патентної літератури.....	9
1.2. Обґрунтування необхідності науково-дослідної роботи.....	12
1.3. Експериментальна частина.....	14
1.3.1 Опис методик проведення досліджень.....	14
1.3.2 Результати досліджень та їх аналіз.....	15
1.3.3 Висновки за результатами проведених досліджень.....	18
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
2.1. Обґрунтування та вибір асортименту продукції.....	19
2.2. Аналіз й вибір технологічних схем.....	25
2.3. Розрахунок сировини, готової продукції та допоміжних матеріалів	30
2.4. Аналіз, підбір і розрахунок кількості обладнання.....	35
2.5. Заходи щодо енерго- та ресурсозбереження для забезпечення сталого розвитку.....	49
2.6. Розрахунок виробничих площ.....	53
2.7. Організація виробничого потоку	54
2.8. Технохімічний контроль та менеджмент якості виробництва.....	58
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	64
4. СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ	70
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	74
ВИСНОВОК	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80

ВСТУП

Агропромисловий комплекс України на сьогодні є одним із ключових секторів економіки, що забезпечує продовольчу безпеку держави та формує значну частку експортного потенціалу. Олійно-жирова галузь, зокрема переробка сої, займає в цьому комплексі провідне місце. Соя є унікальною культурою, що поєднує високий вміст білка та олії, що робить її незамінною сировиною як для харчової промисловості, так і для виробництва високоенергетичних кормів у тваринництві.

В останні роки в Україні спостерігається стійка тенденція до нарощування обсягів вирощування та переробки сої. Однак, поряд зі збільшенням потужностей, перед вітчизняними підприємствами гостро постає питання ефективності виробництва. Традиційні технологічні схеми підготовки насіння до екстракції, які передбачають лише класичне плющення, не завжди дозволяють досягти максимального вилучення олії та забезпечити високу якість шроту. Залишкова олійність шроту часто перевищує нормативні показники, що призводить до прямих економічних втрат. Крім того, енергоємність застарілих технологій суттєво знижує рентабельність виробництва в умовах зростання цін на енергоносії.

У цьому контексті удосконалення технології переробки сої шляхом впровадження інноваційних методів підготовки сировини набуває особливої актуальності. Одним із найбільш перспективних напрямків є використання процесу експандування — короткочасної високотемпературної обробки матеріалу під тиском перед екстракцією. Це дозволяє змінити внутрішню структуру клітин насіння, підвищити пористість матеріалу, покращити його дренажні властивості та інактивувати антипоживні речовини ще до стадії екстракції. Впровадження такого підходу дозволяє інтенсифікувати процес

вилучення олії, зменшити витрати розчинника та покращити якісні показники готової продукції.

Таким чином, тема магістерської роботи, присвячена удосконаленню технології переробки насіння сої із виробництвом соєвої олії, є своєчасною, актуальною та має важливе промислове значення.

Метою роботи було удосконалення технології переробки насіння сої із виробництвом соєвої олії

Об'єктом дослідження була технологія переробки насіння сої із одержанням соєвої олії та шроту.

Предметом дослідження було насіння сої, обладнання для підготовки насіння до вилучення олії.

1. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

1.1. Аналітичний огляд науково-технічної та патентної літератури

Сучасний стан олійно-жирової промисловості характеризується постійним пошуком шляхів інтенсифікації технологічних процесів, зниження енерговитрат та підвищення якості готової продукції. Соя, як одна з провідних олійних культур світу та України, потребує особливих підходів до переробки через специфіку своєї біохімічної будови та відносно низьку олійність (17–22%) порівняно з соняшником чи ріпаком.

Аналіз наукової літератури [1–5] дозволяє виділити основні напрямки розвитку технологій переробки сої, які базуються на максимізації виходу олії та збереженні нативних властивостей білка у шроті.

1.1.1. Сучасні методи вилучення олії

У світовій практиці для добування рослинних олій застосовують чотири основні методи: механічне пресування, екстракцію органічними розчинниками, екстракцію з використанням надкритичних флюїдів (CO₂) та водну ензиматичну екстракцію. Проте в промислових масштабах найбільш поширеними залишаються механічний (пресовий) та хімічний (екстракційний) методи, а також їх комбінація (форпресування–екстракція).

Механічне пресування є найдавнішим способом отримання олії. Суть методу полягає у відділенні олії від твердої фази під дією зовнішнього тиску, що створюється в спеціальних машинах — пресах. Історично першими були гідравлічні преси періодичної дії, де процес поділявся на три стадії: початкову,

динамічну та кінцеву. Однак через низьку продуктивність та високу трудомісткість вони були витіснені шнековими пресами безперервної дії.

Сучасний шнековий прес складається з зерного барабана та шнекового валу. Конфігурація витків шнека змінюється таким чином, щоб зменшувати вільний об'єм у міру просування матеріалу, створюючи тиск. Олія витікає через щілини зерної камери, а макуха вивантажується через конусний отвір.

Головною перевагою пресування є отримання екологічно чистої олії без використання хімічних реагентів. Однак цей метод має суттєвий недолік — низьку ефективність знежирення. У макусі залишається від 8% до 14% олії, що є неприпустимими втратами для переробки сої, яка й так має невисоку початкову олійність.

Тому для сої основним промисловим методом є **екстракція розчинником**, яка дозволяє знизити залишкову олійність шроту до 0,5–1,0%.



1.1.2. Теоретичні основи та реагенти процесу екстракції

Процес екстракції базується на масообмінному процесі переходу цільового компонента (олії) з твердої пористої матриці насіння у рідку фазу розчинника внаслідок різниці концентрацій (молекулярна дифузія) та конвективного переносу (конвективна дифузія).

Ефективність процесу залежить від природи розчинника (екстрагента). До розчинників висуваються жорсткі вимоги: висока розчинювальна здатність щодо олії, низька температура кипіння (для легкої регенерації), хімічна інертність, доступність та низька токсичність.

У науково-технічній літературі розглядаються різні види розчинників:

- **Ацетон:** має високу полярність, змішується з водою, але є вибухонебезпечним.
- **Етиловий ефір:** надзвичайно леткий, але створює вибухонебезпечні суміші та є дорогим.
- **Хлорорганічні розчинники (хлороформ, дихлоретан, метиленхлорид):** мають відмінну розчинну здатність та не горять, проте є високотоксичними, викликають корозію обладнання і складні в регенерації ¹⁰¹⁰¹⁰¹⁰.
- **Гексан:** На сьогодні це основний промисловий розчинник. Це насичений вуглеводень (C₆H₁₄), який має низьку полярність, що забезпечує селективне вилучення нейтральних жирів. Його температура кипіння (близько 69 °C) дозволяє ефективно відокремлювати його від олії шляхом дистиляції.

Разом з тим, гексан є токсичною та легкозаймистою речовиною, що вимагає суворого дотримання правил вибухопожежобезпеки на виробництві.

1.2. Обґрунтування необхідності науково-дослідної роботи

Аналіз сучасного стану технології переробки сої свідчить про наявність низки невирішених проблем, які стримують підвищення ефективності виробництва. Попри те, що екстракційний спосіб вилучення олії є найбільш поширеним у світі, традиційна схема підготовки сировини (очищення – дроблення – кондиціонування – плющення) не дозволяє повною мірою реалізувати потенціал цієї культури.

1.2.1. Недоліки традиційної технології

Головною проблемою класичної схеми є фізична структура підготовленого матеріалу — соєвої пелюстки (пластівця). В процесі плющення на вальцевих станках відбувається лише часткове руйнування клітинної структури. Значна частина олії залишається замкненою всередині непошкоджених клітин.

Це створює високий дифузійний опір при екстракції, оскільки розчинник (гексан) змушений проникати через неушкоджені клітинні стінки, розчиняти олію і дифундувати назад у потік міцели. Цей процес є повільним і вимагає збільшення тривалості екстракції або підвищення температури, що не завжди є економічно доцільним.

Крім того, традиційна пелюстка має низьку механічну міцність і схильна до руйнування з утворенням дрібної фракції ("пилу"). При завантаженні в екстрактор такий матеріал ущільнюється, що різко знижує швидкість фільтрації (перколяції) розчинника через шар сировини. Погіршення дренажних властивостей призводить до утворення застійних зон, "канального" проходження розчинника та, як наслідок, підвищення залишкової олійності шроту понад нормативні 1,0–1,5%.

Також суттєвим недоліком є висока вологоутримуюча здатність традиційної пелюстки. Після екстракції шрот виходить перенасиченим розчинником, що

вимагає значних витрат теплової енергії (гострої пари) на стадії тостування для його видалення (десолвентизації).

1.2.2. Наукове обґрунтування інноваційного рішення (Експандування) Для вирішення окреслених проблем пропонується впровадження в технологічну схему операції **експандування** (або екструдуювання з розширенням). Необхідність дослідження цього процесу зумовлена його комплексним впливом на фізико-хімічні властивості сої.

Наукова гіпотеза роботи полягає в тому, що короткочасна обробка попередньо підготовленої пелюстки в зоні високого тиску (до 40 бар) і температури (105–120 °C) з подальшим миттєвим скиданням тиску призводить до глибоких структурних перетворень:

- 1. Деструкція клітинної структури:** Внаслідок різкого перепаду тиску на виході з матриці експандера відбувається миттєве випаровування перегрітої внутрішньоклітинної вологи ("вибух" зсередини). Це призводить до розриву клітинних оболонок і вивільнення олії на поверхню частинок, що робить її легкодоступною для розчинника. Дослідження показують, що це дозволяє скоротити час екстракції та зменшити залишкову олійність шроту до 0,5–0,8%.
- 2. Структурування матеріалу (утворення колету):** Експандований матеріал формується у вигляді пористих гранул (колетів), які мають розвинену внутрішню поверхню та високу шпаруватість шару. Це кардинально покращує гідродинаміку процесу в екстракторі: розчинник вільно проходить крізь шар матеріалу, забезпечуючи інтенсивний масообмін.
- 3. Інактивація антипоживних речовин:** Соя містить термолабільні антипоживні чинники (уреазу, інгібітори трипсину, ліпоксигеназу), які знижують кормову цінність шроту. Традиційно їх інактивація відбувається на стадії волого-теплової обробки шроту (тостування).

Застосування експандера дозволяє провести цей процес ще до екстракції, що розвантажує тостер і зменшує загальні енерговитрати.

1.3. Експериментальна частина

1.3.1. Опис методик проведення досліджень

Метою експериментальної частини є порівняльний аналіз ефективності різних способів підготовки соєвого насіння до екстракції та визначення впливу процесу експандування на вихідні показники роботи олійноекстракційного заводу.

Як об'єкт дослідження обрано насіння сої з наступними якісними показниками (згідно із завданням на проєктування):

- Вологість: 12,3 %;
- Олійність (на сиру речовину): 19,5 %;
- Вміст смітних домішок: 3,8 %.

Дослідження проводилися шляхом моделювання та порівняння технологічних показників двох схем переробки:

1. Схема №1 (Контрольна/Базова): Класична технологія прямої екстракції.

- *Ланцюг:* Очищення → Дроблення → Кондиціонування → Плющення (отримання пелюстки) → Екстракція.
- *Характеристика матеріалу:* Тонка пелюстка товщиною 0,25–0,30 мм.

2. Схема №2 (Дослідна/Удосконалена): Технологія з використанням експандування.

- *Ланцюг:* Очищення → Кондиціонування → «Тепле» дроблення → Плющення → **Експандування** → Екстракція.
- *Характеристика матеріалу:* Пористий експандат (колет) з насипною масою 500–550 кг/м³.

Методика визначення показників:

Для оцінки ефективності схем використовувалися такі ключові параметри:

1. **Насипна маса (кг/м³):** Визначалася шляхом зважування матеріалу у мірному об'ємі. Цей показник впливає на завантаження екстрактора.
2. **Швидкість перколяції (фільтрації) розчинника (м/с):** Визначалася як здатність розчинника проходити крізь шар підготовленого матеріалу за одиницю часу. Висока швидкість свідчить про добру дренажну здатність
3. **Олійність шроту (%):** Визначалася стандартним методом екстрагування в апараті Сокслета (за ДСТУ ISO 659:2007). Це основний показник втрат олії.
4. **Вміст розчинника у шроті перед тостером (%):** Характеризує вологоутримуючу здатність матеріалу та впливає на енерговитрати при видаленні розчинника.

1.3.2. Результати досліджень та їх аналіз

У ході дослідження було проаналізовано структурні зміни соєвої сировини після обробки за двома схемами.

Аналіз структурно-механічних властивостей при використанні Схеми №1 (плющення) матеріал має вигляд плоских пелюсток. Під час транспортування та завантаження в екстрактор частина пелюсток руйнується, утворюючи до 5–8% дрібної фракції («мучки»). Це призводить до ущільнення шару в екстракторі та погіршення проникності для розчинника.

При використанні Схеми №2 (експандування) під дією миттєвого скидання тиску (з 30 бар до атмосферного) та випаровування внутрішньої вологи

відбувається деструкція клітинних оболонок. Матеріал перетворюється на пористу гранулу (колет).

Результати порівняння фізичних властивостей наведені в Таблиці 1.1.

Показник	Схема №1 (Пелюстка)	Схема №2 (Колет)	Відхилення, %
Насипна маса, кг/м ³	380 – 420	500 – 550	+30%
Пористість шару, %	40 – 45	55 – 60	+33%
Вміст олії на поверхні частинок*, %	15 – 20	60 – 75	+300%
Дренажна здатність (швидкість фільтрації), м/год	25 – 30	45 – 50	+66%

*Примітка: Вміст олії на поверхні показує, яка частка олії стала вільною і доступною для змивання розчинником без довгої дифузії.

Аналіз ефективності вилучення олії Головним критерієм ефективності є залишкова олійність шроту. Графік залежності виходу олії від часу екстракції (кінетика процесу) показує, що для експандованого матеріалу процес протікає значно інтенсивніше.

Отримані дані щодо ефективності екстракції зведені в Таблиці 1.2.

Показник	Схема №1 (Традиційна)	Схема №2 (Інноваційна)	Ефект
Залишкова олійність шроту, %	1,0 – 1,2	0,5 – 0,7	Зниження втрат олії на ~0,5%
Тривалість екстракції, хв	45 – 50	30 – 35	Збільшення продуктивності
Вміст розчинника у шроті після екстракції, %	30 – 35	18 – 22	Економія пари на тостування
Активність уреазі (до тостера), ΔрН	2,0 – 2,2	0,3 – 0,4	Попередня інактивація

Аналіз отриманих результатів: Як видно з табл. 1.2, впровадження експандера дозволяє знизити залишкову олійність шроту в середньому на 0,5%. При продуктивності заводу 1000 т/добу це забезпечує додаткове отримання **5 тонн олії щодоби**. Крім того, зниження вмісту розчинника у шроті з 30% до 20% означає, що навантаження на тостер суттєво зменшується. Колет краще віддає розчинник, що дозволяє скоротити витрати гострої пари на його регенерацію на 15–20%.

Важливим результатом є також попередня інактивація антипоживних речовин. В експандері температура досягає 105–110 °С, що призводить до зниження активності уреазі ще до входу в екстрактор. Це підвищує кормову безпеку готового продукту.

1.3.3. Рекомендації щодо впровадження результатів наукових досліджень

На основі проведеного аналізу та отриманих позитивних результатів досліджень, для проєктування цеху переробки сої продуктивністю 1000 т/добу рекомендується:

1. **Модернізувати лінію підготовки:** Включити в апаратурно-технологічну схему експандер (рекомендована модель — **Bühler DFEN** або аналог), встановивши його безпосередньо після плющильних станків та перед екстрактором.
2. **Оптимізувати параметри роботи обладнання:**
 - Вологість матеріалу перед експандером підтримувати на рівні 10–11%.
 - Температуру в зоні експандування забезпечити в межах 105–110 °С.
 - Забезпечити подачу гострої пари в експандер для створення необхідного тиску та пластифікації маси.
3. **Використовувати переваги колету:** Зважаючи на високу насипну масу експандату (колету), рекомендується збільшити висоту шару матеріалу в стрічковому екстракторі, що дозволить підвищити загальну продуктивність лінії без заміни основного корпусу екстрактора.
4. **Енергозбереження:** Врахувати зниження кількості розчинника у шроті при налаштуванні режимів роботи тостера (знизити подачу пари), що дасть прямий економічний ефект у вигляді зменшення собівартості продукції.

Впровадження даних рекомендацій дозволить підприємству отримати продукт вищої якості (високопротеїновий шрот, більше олії) та підвищити рентабельність виробництва.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Обґрунтування та вибір асортименту продукції

Вибір асортименту продукції для проєктованого підприємства базується на глибокому аналізі сировинної бази, кон'юнктури ринку олійно-жирової продукції та технічних можливостей обраної інноваційної технології переробки. Враховуючи тему магістерської роботи — «Удосконалення технології переробки насіння сої із виробництвом соєвої олії» — та специфіку обраного методу (пряма екстракція з попереднім експандуванням), проєктом передбачено випуск наступного товарного асортименту:

1. **Олія соєва нерафінована** (згідно з ДСТУ 4534:2006).
2. **Шрот соєвий тостований кормовий** (згідно з ДСТУ 4230:2003).
3. **Оболонка соєва гранульована** (кормова добавка або паливо).
4. **Концентрат фосфатидний** (лецитин).

Нижче наведено детальне технологічне та товарознавче обґрунтування кожного виду продукції з урахуванням впливу процесу експандування на їх якісні показники.

2.1.1. Олія соєва нерафінована (екстракційна)

Олія є одним з двох основних цільових продуктів переробки. Хоча її масова частка у виході продукції складає лише 18,5–19,0 %, саме вона формує значну частину виручки підприємства.

Технологічна характеристика продукту:

Соєва олія належить до групи лінолево-олеїнових олій. Вона характеризується високим вмістом поліненасичених жирних кислот (ПНЖК), зокрема лінолевої (ω -6) та ліноленової (ω -3), які є есенціальними (незамінними) для організму людини.

Типовий жирнокислотний склад соєвої олії, яку ми плануємо отримувати:•
Лінолева кислота (C18:2): 50–57 %;

- Олеїнова кислота (C18:1): 20–25 %;
- Пальмітинова кислота (C16:0): 9–11 %;
- Ліноленова кислота (C18:3): 6–9 %;
- Стеаринова кислота (C18:0): 3–5 %.

Вплив експандування на якість олії: Впровадження стадії експандування у технологічну схему має безпосередній позитивний вплив на якість екстракційної олії:

1. **Зниження вмісту негідратованих фосфоліпідів.** В процесі експандування під дією високої температури (105–110 °C) та вологи відбувається часткова інактивація ферменту фосфоліпази D. У традиційних схемах цей фермент сприяє утворенню негідратованих форм фосфоліпідів (кальцієвих та магнієвих солей фосфатидних кислот), які важко виводяться при рафінації і погіршують товарний вигляд олії. Експандування фіксує фосфоліпіди у гідратованій формі, що полегшує подальшу гідратацію.
2. **Покращення колірності.** Швидка обробка в експандері та скорочення часу перебування матеріалу в екстракторі (завдяки кращій дренажній здатності колету) зменшує перехід у олію окислених пігментів та продуктів розпаду білків. Очікуване кольорове число олії — не більше 15–20 мг йоду, що відповідає вищому ґатунку.
3. **Інактивація ліпоксигенази.** Цей фермент каталізує окислення жирних кислот. Його руйнування в експандері підвищує окислювальну стабільність олії при зберіганні, знижуючи ризик зростання перекисного числа.

Напрями використання та реалізації: Отримана нерафінована олія першого гатунку буде реалізовуватися за трьома напрямками:

- **Харчова промисловість (B2B):** Продаж на олієжирові комбінати для повної рафінації, дезодорації та фасування (бутильована олія), а також для виробництва майонезів, соусів та маргаринів. Високий вміст лінолевої кислоти робить її цінною сировиною.
- **Технічні цілі (Біодизель):** Завдяки сприятливому жирнокислотному складу та відносно низькій температурі застигання, соєва олія є ідеальною сировиною для переестерифікації у метилові ефіри жирних кислот (FAME).
- **Експорт:** Нерафінована соєва олія є біржовим товаром з високим попитом на ринках ЄС та Азії.

Вимоги до якості (цільові показники проєкту):

- Кислотне число: не більше 1,5 мг КОН/г.
- Масова частка вологи та летких речовин: не більше 0,15 %.
- Масова частка фосфоровмісних речовин (у перерахунку на стеароолеолецитин): не більше 2,0 %.
- Перекисне число: не більше 5,0 ½ ммоль/кг.

2.1.2. Шрот соєвий тостований (високопротеїновий)

Шрот є основним за тоннажем продуктом заводу (вихід близько 74 %).

Економічна ефективність всього проєкту значною мірою залежить від якості та вартості реалізації шроту.

Технологічна характеристика продукту: Соєвий шрот — це концентроване джерело рослинного білка, який за своїм амінокислотним складом є найбільш наближеним до білків тваринного походження. Він багатий на лізин, який є лімітуючою амінокислотою в раціонах свиней та птиці. Оскільки проєктом передбачено відділення оболонки (лушпиння) перед екстракцією, ми плануємо отримувати **високопротеїновий шрот** із вмістом сирого протеїну не менше 46–48 % (на суху речовину).

Вплив експандування на якість шроту:

Це ключовий аспект нашої інновації. Впровадження експандера змінює фізико-хімічні властивості шроту наступним чином:

1. **Підвищення засвоюваності (перетравності) білка.** В експандері відбувається м'яка денатурація білків під тиском, що робить їх більш доступними для травних ферментів тварин.
2. **Ефективна інактивація антипоживних речовин.** Соя містить термолабільні інгібітори трипсину (які блокують травлення білків) та фермент уреазу. Традиційно їх руйнують у тостері при тривалій обробці парою. Експандування дозволяє провести попередню інактивацію (flash-нагрів до 110 °C), що знижує навантаження на тостер.
 - *Цільовий показник активності уреазу: Δ рН 0,05–0,15 од. (ідеальний рівень: не сирий і не перепалений).*
3. **Мінімізація реакції Майяра.** Оскільки основна інактивація відбувається в експандері за секунди, ми можемо зменшити час перебування шроту в тостері. Це запобігає реакції меланоїдиноутворення (взаємодія амінокислот з цукрами), яка зв'язує лізин і робить його недоступним. Таким чином, вміст **доступного лізину** в нашому шроті буде вищим, ніж у шроті традиційної переробки.
4. **Зниження залишкової олійності.** Завдяки пористій структурі колету, екстракція проходить глибше. Залишкова олійність шроту становитиме 0,5–0,8 % (проти 1,5 % у класичних заводів). Кожен відсоток зниження олійності автоматично підвищує вміст протеїну в шроті.

Напрями використання:

- **Виробництво комбікормів:** Основний споживач — птахофабрики (бройлери, несучки) та свинокомплекси. Високопротеїновий шрот дозволяє балансувати раціони без використання дорогого рибного борошна.

- **ВРХ (Велика рогата худоба):** Використовується як джерело "захищеного" білка (by-pass protein) для високопродуктивних корів.

Вимоги до якості (цільові показники згідно з ДСТУ 4230:2003):

- Масова частка сирого протеїну (на а.с.р.): не менше 45,0 %.
- Масова частка сирогої клітковини: не більше 6,0 % (завдяки обрушуванню).
- Масова частка сирого жиру: не більше 1,0 % (завдяки експандеру).
- Активність уреазы (ΔpH): 0,1–0,2.
- Розчинність протеїну (PDI): 75–80 %.

2.1.3. Оболонка соєва гранульована

Технологія передбачає "тепле" обрушування насіння перед екстракцією. Це дозволяє відділити 6–8 % оболонки (лушпиння) від маси насіння.

Обґрунтування виділення продукту: Без відділення оболонки неможливо отримати високопротеїновий шрот (46%+), оскільки оболонка містить переважно клітковину і "розбавляє" протеїн.

Технологічні шляхи використання:

1. **Грануляція та реалізація як корму.** Соєва оболонка містить легкоперетравну клітковину, яка є цінною для жуйних тварин (ВРХ). Вона не закислює рубець, на відміну від крохмалистих кормів. Гранульована оболонка має насипну масу 600–650 кг/м³, що робить її зручною для транспортування.
2. **Спалювання у твердопаливних котлах.** Теплотворна здатність соєвої оболонки становить близько 15–16 МДж/кг (близько до пелет з деревини). Враховуючи високу енергоємність процесу переробки (особливо стадій сушіння та тостування), використання власної оболонки для генерації пари є економічно виправданим кроком, що знижує залежність від природного газу. Приймаємо комбіновану схему. Частина оболонки гранулюється на продаж (в сезон високих цін на корми), частина — спалюється в котельні заводу (енергетична утилізація).

2.1.4. Концентрат фосфатидний (Лецитин)

Під час первинної очистки олії (гідратації) виділяється фосфатидна емульсія.

Після сушіння вона перетворюється на фосфатидний концентрат.

Технологічна характеристика: Вміст фосфоліпідів у соєвій олії досягає 2,5–3,0 %. При переробці 1000 тонн сої на добу ми отримуємо близько 180–190 тонн олії, з якої можна виділити 4–5 тонн фосфатидного концентрату щодоби.

Вплив експандування: Як зазначено вище, експандування підвищує гідратованість фосфоліпідів. Це означає, що вихід фосфатидного концентрату з експандованої олії буде вищим на 10–15 % порівняно з олією з "сирої" пелюстки, а сам процес гідратації проходитиме швидше і з меншими втратами нейтрального жиру в осад.

Напрями використання:

- **Харчовий лецитин (E322):** Емульгатор для кондитерської промисловості (шоколад, вафлі), хлібопечення.
- **Кормовий фосфатид:** Додаток до комбікормів для тварин, джерело фосфору та енергії.
- **Технічне використання:** У лакофарбовій промисловості.

Вимоги до якості:

- Масова частка фосфоліпідів: не менше 50 %.
- Масова частка олії: не більше 40 %.
- Масова частка вологи: не більше 1,0 %.

Висновки до вибору асортименту

Обраний асортимент продукції забезпечує комплексну безвідходну переробку сої. Впровадження інноваційної технології (експандування) дозволяє отримати конкурентні переваги для кожного з продуктів:

1. **Олія:** менше фосфору, кращий колір → вища ціна для рафінації.

2. **Шрот:** менше жиру, більше доступного білка, відсутність уреазі → преміум-сегмент кормів.

3. **Оболонка:** власне паливо → зниження собівартості основних продуктів.

Така диверсифікація продукції робить підприємство стійким до коливань цін на ринку та гарантує високу рентабельність виробництва.

2.2. Аналіз й вибір технологічних схем

Вибір технологічної схеми виробництва є визначальним етапом проєктування, оскільки він закладає фундамент майбутньої економічної ефективності підприємства, якості готової продукції та рівня техногенного навантаження на довкілля. Для переробки насіння сої у світовій практиці застосовуються декілька принципових схем, які відрізняються способом підготовки сировини та методом вилучення олії.

Згідно із завданням на дипломне проєктування, продуктивність заводу становить 1000 т/добу. Для таких потужностей схеми, що базуються виключно на механічному пресуванні (однократне або двократне пресування), є економічно недоцільними через високі втрати олії у макусі. Тому як базовий метод вилучення олії прийнято метод **екстракції органічним розчинником**. Однак, навіть у межах екстракційного методу існує декілька варіантів апаратурно-технологічного оформлення стадії підготовки. Проведемо порівняльний аналіз найбільш поширених технологічних схем.

2.2.1. Схема №1: Класична пряма екстракція («Сира пелюстка») Це традиційна схема, яка широко використовувалася на заводах побудови 1970–1990-х років.

Ланцюг операцій:

Очищення → Кондиціонування → Дроблення → Плющення → Екстракція.

- **Суть процесу:** Насіння подрібнюється, зволожується та нагрівається для надання пластичності, після чого на вальцевих верстатах розплющується у тонку пелюстку (0,25–0,30 мм). Пелюстка направляється безпосередньо в екстрактор.
- **Недоліки:**
 1. **Низька насипна маса:** Пелюстка має насипну масу 380–400 кг/м³. Це вимагає екстракторів великого геометричного об'єму для забезпечення заданої продуктивності.
 2. **Погана дренажна здатність:** Тонка пелюстка схильна до злипання та руйнування. У шарі матеріалу утворюються "корки", які погіршують проходження розчинника (перколяцію). Це змушує технологів зменшувати висоту шару в екстракторі, що знижує продуктивність.
 3. **Висока залишкова олійність:** Через неповне розкриття клітинної структури дифузія олії утруднена. Залишкова олійність шроту становить 1,0–1,5 %.

2.2.2. Схема №2: Схема з попереднім пресуванням (Форпресування–Екстракція)

Застосовується переважно для високоолійних культур (соняшник, ріпак), але іноді зустрічається і при переробці сої.

Ланцюг операцій:

Очищення → Волого-теплова обробка → Дроблення → Попереднє пресування → Екстракція макухи.

- **Аналіз:** Для сої, яка містить всього 18–20% олії, ця схема є **нераціональною**. Використання пресів (форпресів) потребує значних витрат електроенергії (до 30–40 кВт·год/т) та обслуговування зношуваних деталей (шнеків, зерних планок). Оскільки олії в сої мало, економічний

ефект від її попереднього віджиму не покриває витрат на експлуатацію пресового відділення. Тому ця схема відхиляється як енергозатратна.

2.2.3. *Схема №3: Пряма екстракція з експандуванням (Обрана схема)*

Це сучасний світовий стандарт переробки сої, відомий як технологія Alcon або Crown Iron Works, яку також активно впроваджує компанія **Bühler**.

Очищення → Кондиціонування → «Тепле» дроблення та відділення оболонки → Плющення → **Експандування** → Екстракція.

Детальне обґрунтування переваг обраної схеми:

- 1. Впровадження "Теплого" дроблення та аспірації оболонки:** На відміну від класичної схеми, де соя дробиться холодною, тут передбачено попередній підігрів цілого зерна. Це робить оболонку крихкою, а ядро — пластичним.
 - *Технологічний ефект:* Дозволяє ефективно відділити оболонку повітряним потоком (аспірацією) без втрат олійного пилу. Це критично важливо для отримання **високопротеїнового шроту** (протеїн >46%), що є вимогою сучасного ринку.
- 2. Процес Експандування (утворення пористого колету):** Після плющення пелюстка подається в експандер (наприклад, Bühler DFEN). Під дією гострої пари, високого тиску та зсувних деформацій відбувається:
 - Миттєвий розігрів маси до 105–115 °С.
 - На виході з фільтри тиск миттєво падає, що призводить до "вибухового" випаровування вологи. Клітинні стінки розриваються, олія вивільняється на поверхню.
 - *Результат:* Утворюється пориста гранула — **колет**.
- 3. Покращення гідродинаміки екстракції:** Колет має насипну масу 500–550 кг/м³ (проти 400 кг/м³ у пелюстки) та високу шпаруватість.

- *Ефект:* Розчинник проходить крізь шар колету з високою швидкістю (швидкість фільтрації зростає у 1,5–2 рази). Це виключає утворення "застійних зон" в екстракторі та дозволяє збільшити висоту шару завантаження. Як наслідок, продуктивність екстрактора тієї ж геометричної форми зростає на 20–25%.

4. **Енергоефективність (Економія пари):** Експандований матеріал (колет) має меншу вологоутримуючу здатність. Після екстракції шрот містить менше розчинника (бензину), ніж при роботі на сирій пелюстці. Це означає, що на стадії тостування (видалення бензину) потрібно витратити значно менше гострої пари.

Показник	Схема №1 (Класична)	Схема №3 (З експандером)	Перевага Схеми №3
Вихід олії	Базовий	+0,5...0,8 %	Зниження втрат у шроті
Залишкова олійність шроту	1,0–1,5 %	0,5–0,8 %	Глибше знежирення
Насипна маса матеріалу	380–400 кг/м ³	500–550 кг/м ³	Збільшення продуктивності обладнання
Активність уреазі перед тостером	Висока (2,0 ΔрН)	Низька (0,3 ΔрН)	Зменшення навантаження на тостер
Вміст протеїну в шроті	44–45 %	47–48 %	За рахунок відділення оболонки
Витрати розчинника	3–4 кг/т	1,5–2,5 кг/т	Економія та екологічність

Таблиця 2.1 — Порівняльний аналіз технологічних схем.

2.2.4. Вибір типу основного обладнання для реалізації схеми

Для реалізації Схеми №3 у проєкті обираємо обладнання провідного світового виробника **Bühler (Швейцарія)**. Вибір обґрунтовується надійністю, високим рівнем автоматизації та енергоефективністю їхніх агрегатів.

1. **Дроблення:** Використовуємо вальцеві верстати серії **OLCB**.
 - *Обґрунтування:* Вони оснащені системою автоматичного регулювання зазору між валками та інтелектуальною подачею продукту, що забезпечує рівномірний гранулометричний склад. Це критично для якісного відділення оболонки.
2. **Плющення:** Верстати серії **OLFB**.
 - *Обґрунтування:* Мають збільшений діаметр валків та гідравлічну систему притиску, що дозволяє отримувати стабільну товщину пелюстки (0,3 мм) навіть при високій продуктивності.
3. **Експандування:** Експандер **DFEN** (або аналог **DOS**).
 - *Обґрунтування:* Спеціальна конструкція шнека та регульований конус на виході дозволяють точно керувати тиском і температурою, забезпечуючи оптимальну пористість колету.
4. **Екстракція:** Стрічковий конвеєрний екстрактор (типу "**Crown**" **Model III** або аналог).
 - *Обґрунтування:* Стрічкова конструкція ідеально підходить для роботи з крихким матеріалом (колетом), забезпечує "м'яке" переміщення шару без перемішування, що гарантує ідеальний протитечійний режим екстракції.

Висновок до розділу 2.2: На основі проведеного аналізу для дипломного проєкту обрано технологічну схему прямої екстракції з попереднім «теплим» обрушуванням та експандуванням. Ця схема є найбільш прогресивною для переробки сої, оскільки забезпечує максимальний вихід олії, отримання високопротеїнового шроту та зниження питомих енерговитрат на 15–20% порівняно з класичними технологіями. Вибір обладнання фірми Bühler гарантує стабільність технологічного процесу та високу якість готової продукції.

2.3. Розрахунок сировини, готової продукції та допоміжних матеріалів

Розрахунок матеріального балансу виробництва є основою для вибору технологічного обладнання, визначення місткості складів та розрахунку техніко-економічних показників проєкту.

Розрахунок виконуємо для олійноекстракційного заводу (цеху) продуктивністю 1000 тонн насіння на добу.

Вихідні дані для розрахунку:

Згідно із завданням на магістерську роботу, приймаємо наступні характеристики сировини, що надходить на виробництво:

1. Добова продуктивність по насінню: $N = 1000$ т/добу.
2. Вологість насіння при надходженні ($W_{\text{поч}}$): 12,3 %.
3. Смітність насіння ($C_{\text{поч}}$): 3,8 %.

Олійність насіння (на сиру речовину) (O_c): 19,5 %.

Нормативні технологічні показники (для проєктованої схеми з експандером):

1. Вологість насіння після кондиціювання (перед дробінням) ($W_{\text{кін}}$): 10,0 %.
2. Залишкова смітність після очищення ($C_{\text{кін}}$): 0,3 %.
3. Вміст лушпиння в насінні сої: 8,0 %.
4. Ступінь відділення лушпиння (обрушування): 75 % (для отримання високопротеїнового шроту).
5. Залишкова олійність шроту: 0,6 %.
6. Втрати розчинника (норматив): 1,5 кг/т насіння.

2.3.1. Розрахунок маси насіння після очищення

У процесі підготовки насіння проходить через сепаратори та магнітні уловлювачі. Маса насіння зменшується на величину відібраних смітних домішок. Також враховуємо механічні втрати при аспірації (0,1% %).

Маса відходів та втрат при очищенні ($M_{\text{відх}}$) визначається за формулою:

$$M_{\text{відх}} = N \cdot \frac{C_{\text{поч}} - C_{\text{кін}} + \Delta_{\text{асп}}}{100}$$

де $\Delta_{\text{асп}}$ – втрати на аспірацію (0,1%).

Підставимо значення:

$$M_{\text{відх}} = 1000 \cdot \frac{3,8 - 0,3 + 0,1}{100} = 1000 \cdot 0,036 = 36,0 \text{ т/добу.}$$

Маса очищеного насіння ($M_{\text{оч}}$):

$$M_{\text{оч}} = N - M_{\text{відх}} = 1000 - 36,0 = 964,0 \text{ т/добу.}$$

Маса отриманих відходів III категорії (некормових) становить 36,0 тонн. Вони підлягають вивозу та утилізації.

2.3.2. Розрахунок процесу кондиціонування

Насіння сої надходить з вологістю 12,3 %, а для ефективного плющення та експандування вологість повинна становити не більше 10,0. Зайва волога видалається у кондиціонері.

Маса випареної вологи ($W_{\text{вип}}$) розраховується за формулою матеріального балансу по сухій речовині:

$$W_{\text{вип}} = M_{\text{оч}} \cdot \frac{W_{\text{поч}} - W_{\text{кін}}}{100 - W_{\text{кін}}}$$

Підставимо значення:

$$W_{\text{вип}} = 964,0 \cdot \frac{12,3 - 10,0}{100 - 10,0} = 964,0 \cdot \frac{2,3}{90,0} = 24,64 \text{ т/добу.}$$

Маса насіння після сушіння (кондиційованого) ($M_{\text{сух}}$):

$$M_{\text{сух}} = M_{\text{оч}} - W_{\text{вип}} = 964,0 - 24,64 = 939,36 \text{ т/добу.}$$

2.3.3. Розрахунок відділення оболонки (обрушування)

Технологічна схема передбачає "тепле" дроблення з відділенням оболонки для підвищення вмісту протеїну в шроті.

Приймаємо вміст оболонки в сої — 8 %.

Загальна маса оболонки в потоці насіння:

$$M_{\text{об.заг}} = M_{\text{сух}} \cdot 0,08 = 939,36 \cdot 0,08 = 75,15 \text{ т.}$$

Ефективність відділення оболонки приймаємо 75 % (щоб залишити частину клітковини для формування структури колету). Маса відділеної товарної оболонки ($M_{\text{об}}$):

$$M_{\text{об}} = M_{\text{об.заг}} \cdot 0,75 = 75,15 \cdot 0,75 = 56,36 \text{ т/добу.}$$

При відділенні оболонки втрачається невелика частина зародка та олійного пилу. Приймаємо олійність відокремленої оболонки на рівні 1,5 %. Втрати олії з оболонкою ($P_{\text{ол.об}}$):

$$P_{\text{ол.об}} = M_{\text{об}} \cdot \frac{1,5}{100} = 56,36 \cdot 0,015 = 0,85 \text{ т.}$$

Маса ядра, що надходить на плющення та експандування ($M_{\text{ядра}}$):

$$M_{\text{ядра}} = M_{\text{сух}} - M_{\text{об}} = 939,36 - 56,36 = 883,0 \text{ т/добу.}$$

2.3.4. Розрахунок виходу олії та шроту

Це основний етап розрахунку. Визначаємо загальну кількість олії, що надійшла з сировиною, та віднімаємо всі втрати.

1. Загальна маса олії в сировині:

$$M_{\text{ол.заг}} = N \cdot \frac{O_c}{100} = 1000 \cdot 0,195 = 195,0 \text{ т.}$$

2. Втрати олії:

- Втрати з відходами при очищенні (приймаємо 0,5% олії у смітті):

$$P_{\text{ол.відх}} = 36,0 \cdot 0,005 = 0,18 \text{ т.}$$

- Втрати з оболонкою (розраховано вище):

$$P_{\text{ол.об}} = 0,85 \text{ т.}$$

Втрати у шроті (основні втрати). При використанні експандера залишкова олійність шроту становить 0,6%. Орієнтовний вихід шроту становить близько 74% від маси насіння.

$$P_{\text{ол.шрот}} \approx 1000 \cdot 0,74 \cdot 0,006 = 4,44 \text{ т.}$$

3. Розрахунковий вихід олії ($M_{\text{ол.товар}}$):

$$M_{\text{ол.товар}} = M_{\text{ол.заг}} - P_{\text{ол.відх}} + P_{\text{ол.об}} + P_{\text{ол.шрот}}$$

$$M_{\text{ол.товар}} = 195,0 - (0,18 + 0,85 + 4,44) = 195,0 - 5,47 = 189,53 \text{ т/добу}$$

4. Вихід соєвого шроту:

Шрот формується з знежиреного ядра плюс волога. Вологість готового тостованого шроту згідно ДСТУ має бути 8.5-10%. Розрахунок ведемо за балансом сухих речовин.

Суша речовина ядра = $M_{\text{ядра}} \cdot (100 - 10,0)/100 = 883,0 \cdot 0,9 = 794,7$ т.

Суша речовина олії = 189,14 т.

Суша речовина шроту ($CP_{\text{шрот}}$):

$CP_{\text{шрот}} = (\text{Суша речовина ядра} - \text{Суша речовина олії видобутої}) = 794,7 - 189,14 = 605,56$ т

Маса товарного шроту при вологості 10% $M_{\text{шрот}}$:

$M_{\text{шрот}} = CP_{\text{шрот}} \cdot (100/(100 - 12)) = 605,56 \cdot (100/88) = 756,95$ т/добу.

2.3.5. Розрахунок допоміжних матеріалів

Основним допоміжним матеріалом у цеху екстракції є розчинник — **гексан**. Він циркулює у замкненому циклі, але частина його втрачається.

Норма витрати розчинника для заводів з експандером становить 1,5 кг на 1 тону переробленого насіння.

Приймаємо питому витрату $q_{\text{розч}} = 1,5$ кг/т.

Добова потреба в гексані:

$$M_{\text{гексан}} = N \cdot q_{\text{розч}} = 1000 \cdot 1,5 = 1500 \text{ кг} = 1,5 \text{ т/добу.}$$

Також до допоміжних матеріалів відноситься вода для градирень (підживлення оборотної системи) та пара. Витрати пари на технологічні потреби (сушіння, тостування, дистиляція) для схеми з експандуванням становлять 280 кг на 1 тону насіння.

$$M_{\text{пар}} = 1000 \cdot 0,28 = 280 \text{ т/добу.}$$

2.3.6. Зведений продуктивний баланс

Результати розрахунків зводимо у підсумкову таблицю матеріального балансу (Таблиця 2.2).

Статті надходження (Прихід)	Маса, т	%	Статті витрат (Розхід)	Маса, т	%
1. Сировина:			1. Готова продукція:		
Насіння сої (W=12,3%, O=19,5%)	1000	100	Олія соєва нерафінована	189,14	18,91
			Шрот соєвий тостований	688,14	68,81
			2. Побічна продукція:		
			Оболонка соєва кормова	56,36	5,64
			3. Відходи та втрати:		
			Відходи очищення (сміття)	36	3,6
			Волога (випарена при сушінні та тостуванні)*	29,77	2,98
			Механічні та необліковані втрати	0,59	0,06
ВСЬОГО	1000	100	ВСЬОГО	1000	100

2.4. Аналіз, підбір і розрахунок кількості обладнання

Правильний підбір технологічного обладнання є запорукою стабільної роботи підприємства, забезпечення високої якості продукції та мінімізації експлуатаційних витрат. При виборі обладнання для лінії переробки сої продуктивністю 1000 т/добу керуємося наступними принципами:

- 1. Надійність та енергоефективність:** Перевага надається обладнанню провідних світових виробників. Для ділянки підготовки сировини обрано обладнання фірми **Bühler AG** (Швейцарія), яке характеризується високим рівнем автоматизації та тривалим ресурсом роботи робочих органів (валків, шнеків).

2. **Одинична потужність:** Прагнення до встановлення обладнання великої одиничної потужності для зменшення кількості одиниць, спрощення обслуговування та зменшення будівельного об'єму цеху.

3. **Синхронізація потоків:** Продуктивність машин на кожній стадії повинна відповідати матеріальному балансу з урахуванням пікових навантажень.

2.4.1. Фонд часу роботи та розрахункова продуктивність

Режим роботи олійноекстракційного заводу — безперервний.

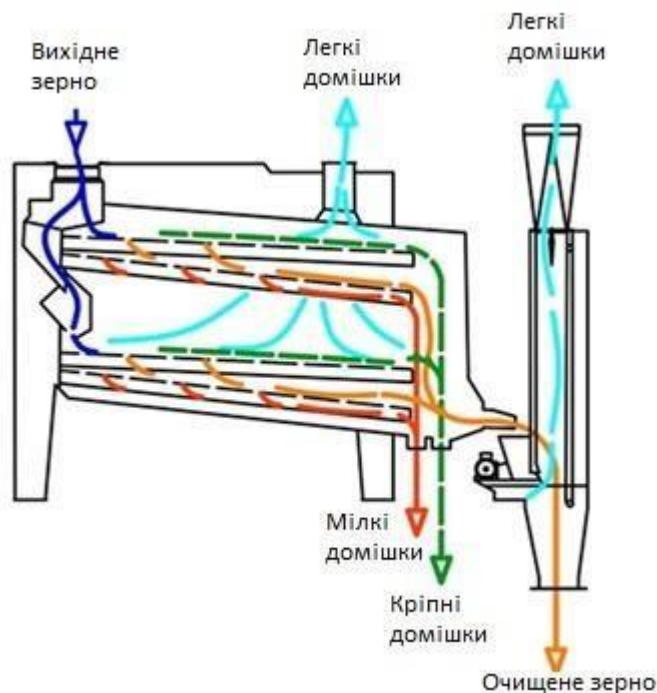
- Кількість робочих днів на рік: $D_{роб} = 330$ діб (35 діб відводиться на капітальний ремонт).
- Кількість змін на добу: $n_{зм} = 2$.
- Тривалість зміни: $T_{зм} = 12$ годин.

2.4.2. Підбір обладнання ділянки очищення та сушіння

1. Сепаратор зерновий (для очищення насіння)

- *Маса на вході:* $M_{доб} = 1000$ т.
- *Розрахункове навантаження:* $Q_{год} = (1000 / 24) * 1,1 = 45,8$ т/год.

Принципова схема ситчастого сепаратора



До встановлення приймаємо універсальний ситовий сепаратор **Bühler TAS 152A**.



Конструкція та принцип роботи

Сепаратор складається з таких основних елементів:

- **Приймальний бункер:** для завантаження зерна.
- **Ситова система:** набір сит із отворами різного діаметра, через які зерно проходить, сортується за розміром і відділяється від великих та дрібних домішок.
- **Повітряний канал:** використовується для видалення легких домішок за допомогою потоку повітря.
- **Вивантажувальні отвори:** забезпечують розподіл очищеного зерна та відходів у відповідні ємності.
- **Привідний механізм:** для забезпечення руху сит або створення повітряного потоку.

Принцип роботи сепаратора заснований на поєднанні механічної (сита) та пневматичної (повітряний потік) очистки. Завантажене зерно спочатку

проходить через ситову систему, де відсіваються великі й дрібні домішки, а потім легкі домішки видаляються за допомогою повітряного потоку.

Переваги використання сепаратора:

- Підвищення якості зерна.
- Зменшення втрат під час зберігання та переробки.
- Автоматизація процесу очищення і сортування, що підвищує продуктивність.

Переваги конкретної моделі:

1) Знижене втручання людини в процес і підвищена якість сортування

2) Використання енергоощадних приводів та вдосконалених пневматичних систем. Наприклад:

Використання регульованих повітряних потоків, які споживають менше енергії.

Оптимізовані електромотори із змінною частотою.

Результат: зменшення енергоспоживання до 30–40% порівняно з традиційними моделями.

3) Комбіновані технологія очищення, що допомагає досягти найвищого рівня чистоти зерна, що є критично важливим фактором.

4) Модульна конструкція. Він має модульну конструкцію, що дозволяє швидко змінювати конфігурацію для роботи з різними культурами(соя, ріпак і тд.). Це включає:

- Змінні сита з різними розмірами отворів
- Легку інтеграцію з іншими системами виробничої лінії.

Що робить обладнання універсальним, та зменшує час на переналаштування.

5) Екологічність. Інновації також спрямовані на мінімізацію впливу на навколишнє середовище. Це досягається наприклад системами рециркуляції повітря, які зменшують викиди пилу.

- б) Контроль безпеки: оснащений датчиками для моніторингу вібрацій та руху сита. У разі відхилень автоматична зупинка, що запобігає пошкодженням і забезпечує безпеку роботи.
- *Технічна характеристика:* Площа сит — 12 м². Оснащений аспіраційною камерою для видалення легких домішок.
 - *Паспортна продуктивність:* до 70 т/год (по очищенню сої).
 - *Розрахунок кількості:*

$$n = \frac{45,8}{70} = 0,65 \rightarrow \text{Приймаємо 1 машину.}$$

2. Сушарка шахтна (Кондиціонер)

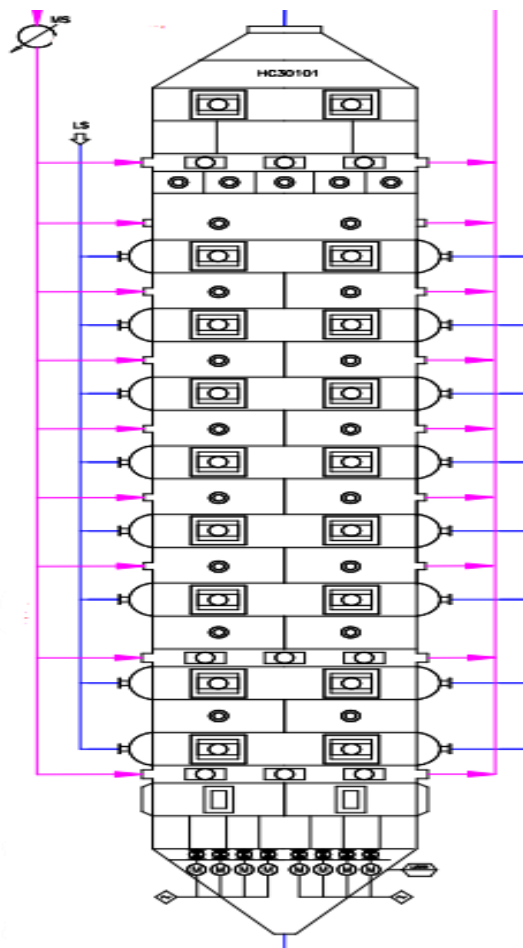
Для забезпечення вологості 10% перед обрушуванням.

Маса на вході: 964 т (після очищення).

Розрахункове навантаження: $Q_{\text{год}} = 44,2$ т/год.

Принцип побудови кондиціонера:

- 1) **Завантажувальний бункер:** забезпечує рівномірне надходження сировини до системи обробки.
- 2) **Теплообмінник:** забезпечує підігрівання насіння до потрібної температури за допомогою гарячої пари або повітря.
- 3) **Система подачі вологи:** Розпилювачі або зволожувачі для регулювання вологості сировини.
- 4) **Робоча камера:** може бути вертикальною або горизонтальною залежно від конструкції.
- 5) **Вивантажувальний механізм:** забезпечує подачу обробленого насіння до наступного етапу виробництва.



Принципова схема кондиціонера

До встановлення приймаємо шахтну сушарку **Bühler Eco-Dry** (або аналог). Тип — прямоточна, з рекуперацією тепла. Теплоносій — гаряче повітря, що нагрівається паровими калориферами.

- *Кількість:* 1 установка.

Переваги даного кондиціонера сої:

1) Системи контролю:

- Впровадження автоматизованих систем управління процесами (PLC).
- Онлайн-моніторинг вологості та температури сировини з можливістю дистанційного управління.

2) Енергоефективність:

- Використання рекуператорів тепла для зменшення споживання енергії.
- Оптимізовані теплообмінники для ефективного використання ресурсів.

3) Екологія:

- Використання екологічно чистих джерел тепла , таких як біогаз.

4) Компактний дизайн:

- Займає менше місця завдяки вертикальній компоновці.
- Модульна структура, яка дозволяє легко інтегрувати обладнання у вже існуючі виробничі лінії.

2.4.3. Підбір обладнання ділянки дроблення та обрешування

На цій ділянці соєві боби доведені до певних кондицій проходять через дробарки , які мають спеціальні вали, за допомогою , яких перша розділяє на дві частини , та друга , яка знаходиться під нею вже розділяє ці половинки на 4/6 частин, також присутні каскадні аспіратори цих дробарок, де з матеріалу , через який проходить тепле повітря відбирається частина оболонки.

Будова валкових дробарок

1. Валковий механізм:

- Основний елемент — пара валків, які можуть бути гладкими, зубчастими або ребристими.
- Валки обертаються у протилежних напрямках, забезпечуючи стиснення та розрив зерна.
- Регулювання зазору між валками дозволяє контролювати розмір часток.

2. Привідний механізм:

- Електродвигун передає рух через ремінну або зубчасту передачу на валки.

- Деякі моделі оснащені системою змінної швидкості для адаптації до різної сировини.

3. Завантажувальний бункер:

- Забезпечує рівномірну подачу сої в дробильну зону.

4. Система очищення:

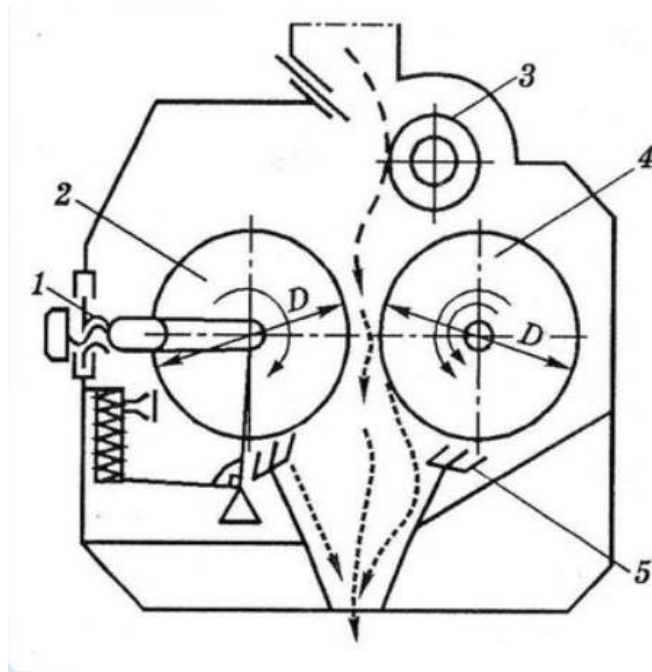
- Вбудовані щітки або лопатки для очищення валків від залишків насіння.
- Сита для видалення пилу або дрібних домішок.

5. Рама і корпус:

- Металева конструкція забезпечує стійкість та знижує вібрації під час роботи.

6. Система захисту:

- Захисні механізми, що запобігають пошкодженню валків у разі потрапляння сторонніх предметів (каменів, металу).



Принципова схема дробарки:

- (1) – механізм регулювання зазору, (2)-тихохідний валець, (3)-живильний валець, (4)-швид-кохідний валець, (5)-щітка

Обираємо дробарки:

- 1) Дробильний станок для першого етапу оброблення BUHLER OLCB-2-241 (з одной парой рифлених валів)
- 2) Дробильний станок для другого етапу BUHLER OLCB-4-421 (з двома парами рифлених валів).

Переваги даних моделей:

1) Регулювання тиску та швидкості валків:

Дробарки оснащені системами автоматичного регулювання тиску між валками залежно від твердості та вологості насіння.

Інтелектуальні системи налаштовують швидкість обертання валків для забезпечення оптимального подрібнення.

2) Рифлені валки нового покоління:

Використання спеціальних матеріалів (карбід вольфраму) для підвищення зносостійкості.

Поліпшений дизайн зубців забезпечує краще захоплення зерна та рівномірне подрібнення.

3) Системи автоматичного очищення:

Удосконалені механізми, які очищають валки під час роботи, мінімізуючи час простою та втрати продуктивності.

4) Енергоефективність:

Високоєфективні приводи, які споживають на 20–30% менше електроенергії.

5) Компактний та модульний дизайн:

Сучасні валкові дробарки займають менше місця на виробництві.

Можливість швидкої заміни валків та налаштування під різні типи сировини.

б) Інтеграція з цифровими системами:

Дробарки можуть передавати дані про продуктивність, стан валків та інші параметри у системи управління підприємством (ERP). Віддалений моніторинг та управління процесом через хмарні технології.



Вальцева дробарка BUHLER

Аспіраційна колонка (Віялка)

- *Призначення:* Відділення легкої оболонки від важкого ядра у висхідному потоці повітря.
- *Маса на вході:* 939,36 т (суміш ядра та оболонки).

Обираємо аспіратор каскадного типу BUHLER MVSG-150.

- *Паспортна продуктивність:* до 60 т/год.
- *Кількість:* 2.

2.4.4. Підбір обладнання ділянки плющення

На цьому етапі відбувається формування соєвих пластівців(0.3мм), з частинок, які утворили дробарки, за допомогою цих самих плющильних станків.

Частинки сої в них розмелюються і пресуються, це утворює так форму соєвих пластівців, цим самим забезпечується максимальна ефективність наступних технологічних процесів.

Обираємо високопродуктивні верстати **Bühler** OLFB 821.



Плющильний станок **Bühler OLFB 821**

Розрахункове навантаження: $Q_{\text{год}} = (883,0 / 24) = 36.79$ т/год.

Кількість: 2 станка.

Переваги даного плющильного станка:

1) Компактний, сучасний дизайн, енергоефективний:

- **Однорівневий верхній привід** дозволяє значно зменшити площу, необхідну для встановлення (на 25% менше, ніж у традиційних моделей).

- **Оптимізована система приводу** знижує тертя, що суттєво зменшує споживання енергії та експлуатаційні витрати

2) Точне регулювання товщини пластівців:

- Гідравлічне та ручне регулювання зазору між валками забезпечує можливість налаштування товщини пластівців під час роботи без необхідності зупинки обладнання. Що підвищує ефективність виробництва та скорочує час простою.

3) Інтегрована система контролю:

- **Контрольний блок PLC**, вбудований у дверцята станка, дозволяє здійснювати моніторинг основних параметрів (гідравлічний тиск, потужність двигунів, стан валків) та інтегруватися з іншими системами заводу через Ethernet/IP або Profibus,

4) Полегшений доступ для обслуговування:

- **Великі відкривні дверцята** забезпечують швидкий доступ до ключових компонентів, таких як валки, ножі-скребки, магніти та напрямні пластини. Це зменшує час на обслуговування та очищення.

5) Зниження рівня шуму та вібрації:

- **Інноваційна система демпфування** забезпечує тиху роботу та мінімізацію вібрацій, що створює комфортні умови для персоналу.

6) Підвищена довговічність валків:

- **Покращені кінцеві ущільнення валків** забезпечують захист від витоків масла та продовжують термін служби обладнання. Валки доступні в різних варіантах міцності (НВ 400–580) для адаптації до різних задач

2.4.5. Підбір обладнання ділянки експандування

Експандери використовуються для обробки подрібнених соєвих пластівців, що дозволяє покращити їх структуру та підвищити вихід олії під час подальшої екстракції.

- Процес експандування передбачає підвищення тиску і температури, в результаті чого пластівці набувають пористої структури(колету). Це збільшує площу контакту між сировиною і розчинником, що сприяє більш ефективному вилученню олії.

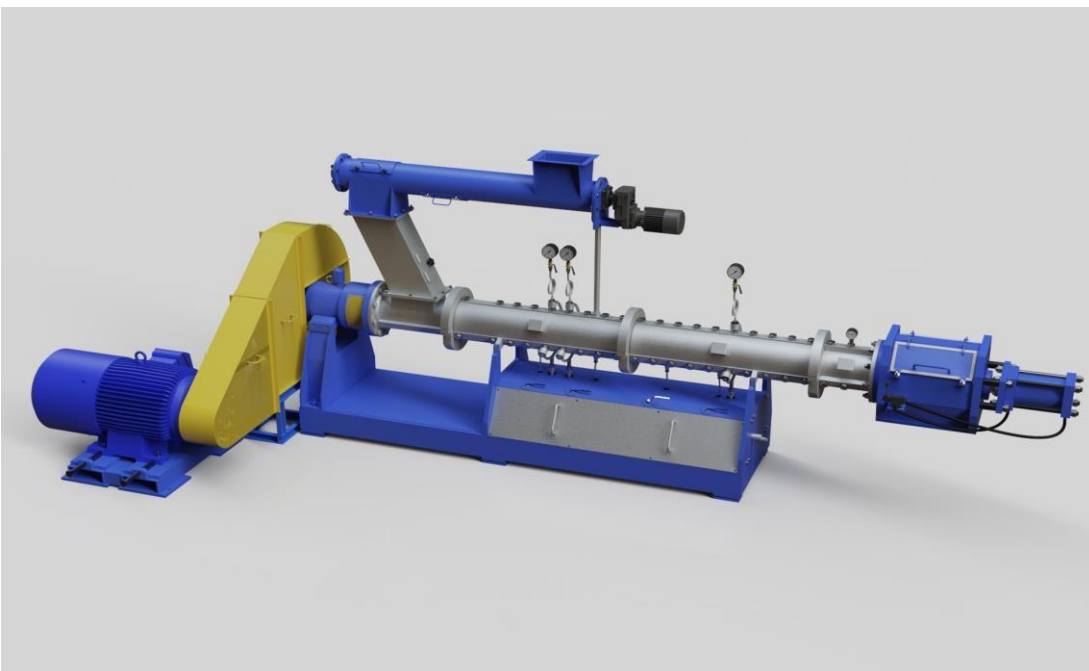
- Високий тиск і температура, що застосовуються в експандерах, сприяють розриву клітинних мембран у соєвих пластівцях. Це дозволяє легше звільнити олію та інші цінні компоненти з сировини.

- Обробка в експандері допомагає підвищити стійкість пластівців до подальшої обробки, що зменшує ризик їх розпаду під час транспортування до екстрактора.
- Після експандування наступна стадія охолодження, що допомагає зберегти структуру нашого продукту і запобігти перегріванню, після охолодження, продукт переробки готуються до подальшої обробки на ділянці екстракції.

- *Маса на вході:* 883,0 т (плюс додавання пари ~3%).
- *Навантаження:* 40,5 т/год.

Обираємо експандер від виробника ГАН

- *Характеристика:* Оснащений гідравлічно регульованим конусом на виході для точного контролю тиску та енергоспоживання. Діаметр шнека — 400 мм.
- *Паспортна продуктивність:* 35–45 т/год (залежно від вмісту олії).
- *Кількість:* 1 шт.



2.4.6. Підбір обладнання екстракційного цеху

1. Стрічковий екстрактор

- *Призначення:* Вилучення олії з колету розчинником (гексаном).
- *Маса на вході (колет):* ~40,5 т/год.

Обираємо екстрактор стрічкового типу.

- *Обґрунтування:* Стрічкова конструкція ідеальна для експандованого матеріалу, забезпечує гарний дренаж і самофільтрацію.
- Геометричні розміри розраховуються індивідуально заводом-виробником під продуктивність 1000 т/добу.
- *Кількість:* 1 агрегат.

2. Тостер-випарник (DTDC)

- *Призначення:* Видалення розчинника зі шроту, тостування (волого-теплова обробка), сушіння та охолодження шроту.
- *Кількість чанів (дек):*
 - Десолвентизація (попереднє випаровування) — 2 чани.
 - Тостування — 3 чани (з гострою парою).
 - Сушіння — 1 чан (гаряче повітря).
 - Охолодження — 1 чан (холодне повітря).
- *Кількість:* 1 вертикальна колона, інтегрована з екстрактором.

3. Дистиляційна установка для розділення мізцели (суміш олія + гексан). Складається з:

- Дистилятор 1-го ступеня (працює за рахунок вторинної пари з тостера — енергозбереження).
- Дистилятор 2-го ступеня.
- Дистилятор 3-го ступеня.
- *Кількість:* 1 комплект.

Висновки до розділу 2.4:

1. Для забезпечення продуктивності 1000 т/добу підібрано сучасне високотехнологічне обладнання.
2. Розрахункова кількість основного обладнання забезпечує необхідний запас потужності та дозволяє проводити планове обслуговування без зупинки всього заводу.

3. Найбільшим споживачем електроенергії є ділянка підготовки (сумарно 550 кВт), що є платою за високу якість шроту та ефективність екстракції. Однак, це компенсується економією теплової енергії (пари) в екстракційному цеху.

Встановлена потужність електродвигунів основного виробництва складає 860,5 кВт. З урахуванням коефіцієнта використання потужності (0,8), споживання складе близько 690 кВт·год, що відповідає питомим витратам **16,5 кВт·год на 1 тону переробленого насіння**. Це є відмінним показником енергоефективності для галузі.

2.5. Заходи щодо енерго- та ресурсозбереження для забезпечення сталого розвитку.

Сучасна стратегія розвитку олійно-жирової галузі базується на принципах сталого розвитку, що передбачає задоволення потреб сьогодення без шкоди для майбутніх поколінь. Для олійноекстракційного заводу це означає мінімізацію споживання непоновлюваних енергоресурсів (природного газу, електроенергії) та зниження техногенного навантаження на довкілля.

У дипломному проєкті впроваджено комплекс інноваційних рішень, спрямованих на ресурсозбереження.

2.5.1. Зниження споживання теплової енергії (Пари)

Основним споживачем теплової енергії (до 70% від загального балансу заводу) є процес видалення розчинника зі шроту в тостері та дистиляція місцели. Впровадження експандера дозволяє суттєво знизити ці витрати.

- 1) Ефект «сухого» шроту:** Традиційна соєва пелюстка має високу вологоутримуючу здатність і виходить з екстрактора з вмістом розчинника 30–35%. Експандований матеріал (колет) має пористу структуру, з якої розчинник стікає значно краще (ефект дренажу).

- *Результат:* Вміст розчинника у шроті перед тостером знижується до 18–22%.

Економія: На випаровування меншої кількості бензину витрачається менше гострої пари. Розрахункова економія пари на стадії тостування становить **15–20%** (близько 40–50 кг пари на тонну сої).

2) Система рекуперації тепла (Energy Recovery): У проєкті передбачено використання вторинних енергоресурсів (ВЕР):

- **Економайзер «Місцела / Олія»:** Гаряча олія після дистиляції ($t = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$) направляється в теплообмінник для попереднього підігріву холодної місцели, що йде на дистиляцію. Це дозволяє повернути у процес до 30% тепла.
- **Утилізація тепла конденсату:** Паровий конденсат ($t = 95\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$) з тостера не скидається в каналізацію, а повертається у котельню. Його тепло використовується для підігріву повітря, що подається на сушарки зерна.

3) Теплоізоляція обладнання: Всі гарячі поверхні (корпус тостера, паропроводи, жаровні) покриваються шаром сучасної мінераловатної ізоляції (товщиною 100 мм) з захисним кожухом. Це знижує втрати тепла в навколишнє середовище до нормативних 3–5%.

2.5.2. Економія електроенергії

Встановлена потужність обладнання цеху є значною (понад 800 кВт), тому заходи з електрозаощадження є пріоритетними.

1. **Частотне регулювання приводів (VFD):** Найбільш енергоємні споживачі (вентилятори аспірації, насоси місцели та води, шнек

експандера) оснащуються перетворювачами частоти (Variable Frequency Drives).

- *Принцип дії:* Автоматика регулює оберти двигуна залежно від реального навантаження, а не дроселює потік заслінками. Це дає економію електроенергії до **25–30%** на насосних та вентиляційних групах.

2. **Використання гравітаційного транспорту:** При компонуванні цеху (розділ 2.6) застосовано вертикальну схему («етажерку»). Сировина піднімається норією лише один раз на верхній поверх, а далі рухається між машинами (ваги → сепаратор → дробарка → плющилка) самопливом по трубах. Це дозволяє відмовитися від десятків проміжних конвеєрів та шнеків.
3. **Енергоефективні двигуни:** Проектом передбачено використання електродвигунів класу енергоефективності **IE3 (Premium Efficiency)** та **IE4**, які мають вищий ККД (до 96%) порівняно зі стандартними двигунами.

2.5.3. Раціональне використання матеріальних ресурсів

1. **Мінімізація втрат розчинника (Гексану):** Гексан є продуктом нафтопереробки і вичерпним ресурсом. Для скорочення його втрат застосовано:

- **Систему "Mineral Oil System" (MOS):** Всі «дихальні» клапани ємностей та виходи з конденсаторів підключені до абсорбційної колони. У ній холодне мінеральне масло поглинає пари гексану з повітря, повертаючи його у виробництво. Ефективність вловлювання — 99,5%.

- **Герметичні насоси:** Використання насосів з подвійним торцевим ущільненням або магнітною муфтою виключає протікання розчинника.
2. **Водокористування (Замкнений цикл):** Олійноекстракційне виробництво потребує великої кількості води для охолодження конденсаторів. Проєктом передбачено **оборотну систему водопостачання** з використанням вентиляторних градирень.
- Вода циркулює по колу: нагрівається в цеху → охолоджується в градирні → повертається в цех.
 - Свіжа вода додається лише на компенсацію випаровування (підживлення), що зменшує загальне водоспоживання заводу у 20–30 разів порівняно з прямою схемою.
3. **Комплексна переробка відходів (Circular Economy):**
- **Соєва оболонка:** Відділена оболонка не викидається, а гранулюється. Частина її використовується як паливо у власній твердопаливній котельні для отримання технологічної пари. Теплотворна здатність оболонки (16 МДж/кг) дозволяє замінити до 15% природного газу.
 - **Фосфатидний шлам:** Переробляється у товарний фосфатидний концентрат, що перетворює потенційний відхід на джерело прибутку.

2.5.4. Екологічний аспект сталого розвитку

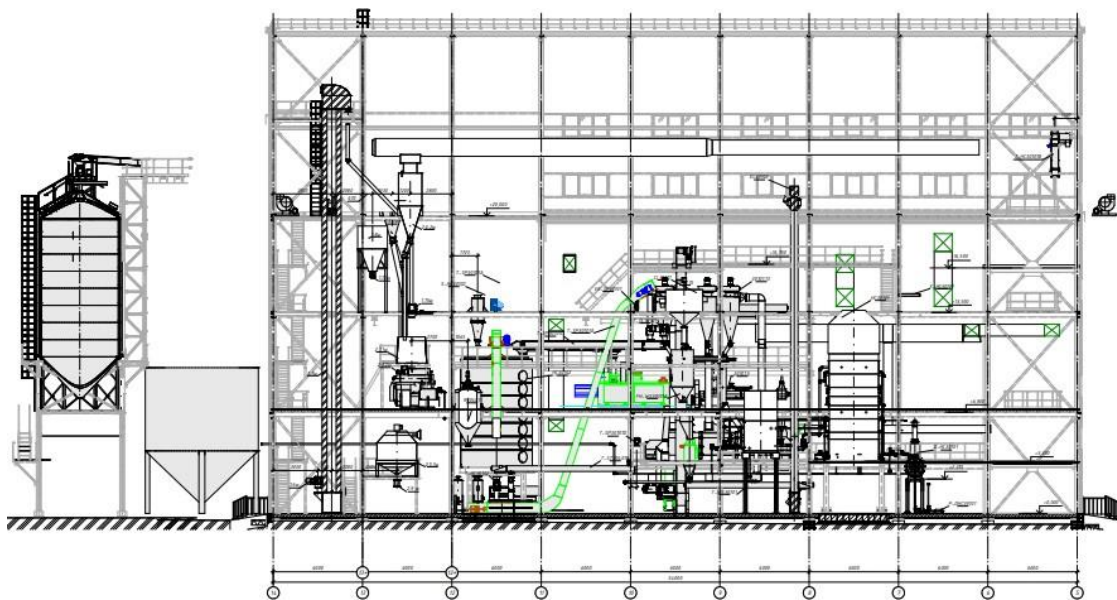
Впроваджені заходи мають прямий екологічний ефект:

- Зниження витрат палива \rightarrow зменшення викидів парникові газів (CO_2) та оксидів азоту (NO_x) в атмосферу.
- Ефективна рекуперація розчинника \rightarrow запобігання викидам летких органічних сполук (VOC), які руйнують озоновий шар.
- Зниження залишкової олійності шроту \rightarrow раціональніше використання вирощеного врожаю (отримання більшої кількості калорій з 1 га посівних площ).

Висновок до розділу:

Запропоновані у дипломному проекті технічні рішення дозволяють класифікувати розроблену технологію як ресурсозберігаючу. Очікуване зниження питомих енерговитрат (пари на 20%, електроенергії на 10%) та втрат розчинника (до 1,5 кг/т) забезпечує високу економічну ефективність виробництва та відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки.

2.6. Розрахунок виробничих площ



Принципова схема цеху підготовки соєвого насіння

Крім площі для обладнання, необхідно також передбачити простір для вільних проходів між агрегатами та для робочих зон, де здійснюється обслуговування, налаштування, перевірка та інші операції.

Рекомендації для площ проходів:

- Проходи між обладнанням мають бути не менше ніж 1 м для технічного обслуговування,
- Проходи між основними агрегатами — 1,5–2 м для забезпечення безпеки.

Загальна площа проходів розраховується за допомогою співвідношення між основною виробничою площею та необхідними проходами.

У підготовчому цеху необхідно передбачити площу для систем повітря, конвеєрів, трубопроводів, електричних кабелів та інших комунікацій. Зазвичай ця площа становить до 15-20% від загальної площі приміщення.

Завод розбитий на дві будівлі, а саме цех підготовки соєвого насіння, та цех екстрагування. Ці будівлі мають багаторівневі етажерки. Загальна висота 25 метрів. Площа загальна 4000м².

2.7. Організація виробничого потоку

Ефективна організація виробничого потоку є критичною умовою забезпечення заданої продуктивності заводу (1000 т/добу) та стабільної якості продукції.

Оскільки технологічний процес переробки сої методом прямої екстракції є безперервним, будь-яка зупинка або нерівномірність подачі сировини на одній ділянці миттєво впливає на роботу всіх наступних апаратів.

У дипломному проєкті організація потоку базується на принципах:

1. **Безперервності:** Обладнання працює у режимі 24/7.
2. **Гравітаційності:** Максимальне використання самопливу продукту для зменшення механічного травмування сировини та економії енергії.
3. **Герметичності:** Система транспортування повністю закрита для запобігання виділенню пилу (у підготовчому цеху) та парів розчинника (в екстракційному цеху).

2.7.1. Схема руху матеріальних потоків

Технологічний потік розділений на два основні блоки згідно з компоновальним рішенням:

Блок А: Вертикальний потік (Підготовка)

У відділенні підготовки реалізовано вертикальну схему руху.

1. **Підйом:** Сире насіння з елеватора подається ланцюговим транспортером (редлером) на "черевик" (нижню частину) головної норії, яка піднімає продукт на верхній поверх.
2. **Гравітаційний каскад:** Далі продукт рухається зверху вниз через технологічні апарати, з'єднані самопливними трубами під кутом не менше 45 градусів.
 - *Маршрут:* Магнітний сепаратор → Зерноочисний сепаратор → Ваги → Кондиціонер → Дробарки → Аспіратори → Плющильні верстати → Експандер.
3. **Передача в екстракцію:** Після експандера гарячий колет падає на герметичний ланцюговий транспортер, який має охолоджувач, який переміщує його у сусідній цех екстракції.

Блок Б: Горизонтальний потік (Екстракція)

В екстракційному цеху рух матеріалу переважно горизонтальний.

1. **Завантаження:** Колет подається у завантажувальний бункер стрічкового екстрактора, який оснащений автоматичною заслінкою для підтримання "газового затвору" (щоб пари гексану не йшли у підготовчий цех).

2. **Екстракція:** Матеріал рухається на стрічці, проходячи зони зрошення місцелюю різної концентрації.
3. **Вивантаження:** Білий шрот (шрот + гексан) зсипається зі стрічки на скребковий транспортер, який піднімає його на верхню частину тостера.
4. **Тостування:** У тостері шрот рухається зверху вниз з чана в чан через перепускні клапани.

2.7.2. Вибір транспортних систем

Для забезпечення надійності потоку потрібно обирати транспортне обладнання, яке інтегрується в єдину систему управління, має високу продуктивність та якість.

1. **Норії (Ковшові елеватори):** Використовуються для вертикального підйому сухого зерна.
 - *Особливості:* Оснащені датчиками збігу стрічки, контролю швидкості та вибухорозрядниками. Стрічка — маслостійка.
2. **Ланцюгові транспортери (Редлери):** Використовуються для горизонтального переміщення.
 - *Переваги:* Закритий короб (відсутність пилу), бережне транспортування (зерно не треться об стінки, а рухається суцільним шаром), функція самозачищення.
 - *Застосування:* Подача насіння в цех, подача шроту на склад.
3. **Гвинтові конвеєри (Шнеки):** Використовуються на коротких ділянках, де потрібно дозування або створення затвору.
 - *Застосування:* Подача матеріалу в експандер (шнек-живильник), вивантаження пилу з циклонів.

2.7.3. Буферизація та стабілізація потоку

Для згладжування нерівномірностей роботи обладнання (наприклад, при зупинці однієї з чотирьох плющилок на заміну валків) у схемі передбачені **оперативні бункери**.

1. **Бункер перед кондиціонером ($V = 50 \text{ м}^3$):** Забезпечує роботу протягом 1,5–2 годин при зупинці подачі зерна з елеватора.
2. **Буферний бункер перед плющилками та буферні бункери плющилок:** Який відповідно дозволяють закріплювати надходження від дробарок, та дозволяють плющилці працювати стабільно, навіть якщо потік зерна з дробарки короткочасно переривається.
 - *Важливість:* Для плющення критично важливо, щоб валки були рівномірно завантажені по всій довжині. Бункер оснащений датчиками рівня, які керують живильним валиком.
3. **Бункер перед екстрактором:** Створює запас матеріалу (колету) на 30–40 хвилин. Виконує функцію герметизуючої пробки, що розділяє вибухонебезпечну зону екстракції від підготовчого цеху.

2.7.4. Автоматизація управління потоком (АСУ ТП)

Управління потоком здійснюється централізовано з операторської станції за допомогою SCADA-системи (на базі контролерів Siemens).

Алгоритми управління:

1. **Система блокувань ("Interlocks"):** Запуск лінії здійснюється суворо у зворотній послідовності (від складу шроту до складу зерна). Якщо зупиняється екстрактор, автоматично зупиняється транспортер подачі колету → зупиняється експандер → плющилки → дробарки. Це запобігає "завалу" обладнання продуктом.
2. **Регулювання продуктивності:**

- Вхідний потік регулюється частотним перетворювачем на шлюзовому затворі під першим бункером.
- Продуктивність експандера регулюється обертами шнека-дозатора залежно від навантаження на головний двигун.

3. Контроль навантаження: На всіх норіях встановлені амперметри. При перевищенні струму (перевантаження) автоматика зменшує подачу зерна на вході в цех.

2.7.5. Система аспірації

Організація потоку неможлива без ефективною системою знепилення. Транспортування сої та шроту супроводжується виділенням пилу, який є вибухонебезпечним. У проєкті передбачена централізована аспіраційна мережа:

- Всі місця пересипання (з редлера в норію, з бункера на ваги) знаходяться під невеликим розрідженням.
- Запилене повітря очищається у рукавних фільтрах з імпульсною продувкою.
- Вловлений пил брикетується.

Висновок до розділу: Розроблена схема організації виробничого потоку забезпечує ритмічну та узгоджену роботу всіх ділянок заводу. Використання вертикальної компоновки та буферних ємностей дозволяє мінімізувати енерговитрати на транспорт і забезпечити коефіцієнт технічного використання обладнання.

2.8. Технохімічний контроль та менеджмент якості виробництва

Забезпечення випуску конкурентоспроможної та безпечної продукції неможливе без ефективною системою технохімічного контролю. На проєктованому підприємстві контроль здійснюється виробничою технологічною лабораторією (ВТЛ), яка атестована відповідно до вимог ДСТУ ISO 10012:2005.

Система контролю охоплює три рівні:

1. **Вхідний контроль:** перевірка якості сировини та допоміжних матеріалів.
2. **Операційний (технологічний) контроль:** моніторинг параметрів технологічного процесу в реальному часі.
3. **Вихідний (приймально-здавальний) контроль:** оцінка якості готової продукції перед відвантаженням.

2.8.1. Вхідний контроль сировини

Якість готової олії та шроту безпосередньо залежить від якості насіння сої, що надходить на переробку. Вхідний контроль здійснюється візирувальниками лабораторії при надходженні кожної партії автотранспорту.

Контрольовані параметри насіння сої (згідно з ДСТУ 4964:2008 «Соя. Технічні умови»):

- **Вологість:** Базисна норма — 12,0%. Перевищення вологості (понад 13–14%) вимагає негайного сушіння для запобігання самозігріванню та гідролізу жирів (зростання кислотного числа).
- **Смітна домішка:** Базис — 2,0%. Високий вміст сміття знижує ефективність обладнання та погіршує якість шроту.
- **Олійність:** Визначає економіку виробництва (розрахунковий показник — 19,5% на сиру речовину).
- **Вміст протеїну:** Критичний показник для кормової цінності (базис — не менше 35% у насінні).
- **Зараженість шкідниками:** Не допускається.

Також проводиться вхідний контроль допоміжних матеріалів:

- **Розчинник (Гексан):** Контролюється густина, межі кипіння (65–69°C) та відсутність нелеткого залишку.
- **Вода:** Жорсткість та мікробіологічні показники.

2.8.2. Операційний контроль виробництва

Цей етап є найважливішим для технолога.

1. Підготовка насіння:

- *Після сепараторів:* Залишкова засміченість (не більше 0,3%).
- *Після сушіння:* Вологість насіння ($10,0 \pm 0,5\%$). Це критично для якісного плющення.
- *Після дробарок:* Фракційний склад крупки (рівномірність подрібнення) та вміст лущиння в ядрі (контроль ефективності аспірації).
- Плющення:

Товщина пелюстки: Контролюється кожні 2 години. Норма — 0,25–0,30 мм.

Товста пелюстка не провариться в експандері, тонка — перетвориться на пил.

- Експандування:

Температура: 105–115 °С. Якщо температура нижча — не відбудеться інактивація уреаз, якщо вища — потемніє олія.

Структура колету: Лаборант візуально оцінює пористість та визначає **насипну масу** (літрова вага). Норма для якісного колету — 500–550 г/л. Якщо вага більша — колет «забитий» (поганий дренаж), якщо менша — занадто крихкий.

Вологість колету: 10–11% (оптимум для екстракції).

2. Екстракція та дистиляція:

- *Температура місцели:* Контролюється автоматично.
- *Концентрація місцели:* Визначається рефрактометрично.
- *Вміст розчинника у шроті (після екстрактора):* Для оцінки роботи дренажної зони.

3. Тостування:

- *Активність уреаз:* Експрес-метод визначення рН. Це головний індикатор того, чи достатньо проварений шрот. Цільове значення зміни рН - 0,1–0,2.

2.8.3. Вихідний контроль готової продукції

Здійснюється перед відвантаженням продукції споживачу (в залізничні вагони або автоцистерни). На кожную партію виписується посвідчення про якість.

1) Олія соєва нерафінована (ДСТУ 4534:2006):

- Кислотне число (мг КОН/г).
- Колірне число (мг йоду).
- Масова частка вологи та летких речовин.
- Вміст фосфоровмісних речовин (у перерахунку на P_2O_5).
- Перекисне число (свіжість олії).

Шрот соєвий тостований (ДСТУ 4230:2003):

- Масова частка сирого протеїну (основний комерційний показник).
- Масова частка сирої клітковини.
- Залишкова олійність (показник ефективності заводу).
- Активність уреазы (показник безпеки корму).
- Вміст розчинника (бензину) — суворий контроль (безпека при транспорті).

2.8.4. Схема технічного контролю

Місце відбору проби	Найменування продукту	Періодичність	Контрольовані показники
Ділянка підготовки			
Авторозвантажувач	Насіння сої	З кожної машини	Вологість, сміття, зараженість, олійність, протеїн
Вихід із сушарки	Насіння сухе	1 раз на 2 год	Вологість, температура
Після аспірації	Ядро соєве	1 раз на 4 год	Вміст лушпиння, вміст сміття
Після плющилок	Пелюстка	1 раз на 2 год	Товщина пелюстки, вміст проходу сита 1 мм
Після експандера	Колет (Експандат)	1 раз на 2 год	Насипна маса, вологість, олійність, пористість
Цех екстракції			
Шнек шроту (після екстрактора)	Шрот вологий (бензиновий)	1 раз на 4 год	Вміст розчинника, олійність (експрес)
Вихід тостера	Шрот готовий	1 раз на 2 год	Вологість, активність уреазі, залишковий розчинник
Вихід дистиляції	Олія нерафінована	1 раз на 2 год	Кислотне число, волога, температура спалаху
Склад шроту	Шрот товарний	Змінна проба	Повний аналіз згідно ДСТУ 4230
Ємності олії	Олія товарна	Кожна партія	Повний аналіз згідно ДСТУ 4534

2.8.5. Система управління безпеністю харчових продуктів (НАССР)

Згідно із Законом України «Про основні принципи та вимоги до безпеності та якості харчових продуктів», на підприємстві впроваджена система НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points).

У рамках магістерської роботи визначено **Критичні Точки Контролю (КТК / ССР)** для розробленої технологічної схеми:

КТК-1 (Приймання): Контроль вмісту мікотоксинів (афлатоксинів) у насінні. Неможливо усунути в процесі виробництва, тому заражене насіння не приймається.

КТК-2 (Експандування/Тостування): Температурно-часовий режим.

- *Небезпека:* Вживання патогенної мікрофлори (*Salmonella*) та висока активність уреаз.
- *Критичні межі:* Температура шроту на виході з тостера не нижче 100°C, експозиція не менше 20 хв.

КТК-3 (Відвантаження шроту): Вміст залишкового розчинника.

- *Небезпека:* Вибух пилоповітряної суміші, токсичність корму.
- *Критична межа:* Не більше 0,1%.

КТК-4 (Магнітний захист): Встановлення магнітів після транспортера подачі насіння в цех та перед дробарками й грануляторами.

- *Небезпека:* Потрапляння металу в готовий продукт або іскроутворення в машинах.

Висновок до розділу 2.8: Розроблена схема технохімічного контролю забезпечує наскрізний моніторинг якості. Впровадження специфічного контролю параметрів експандування (насіпна маса колету) дозволяє стабілізувати роботу екстракційного цеху та гарантувати отримання високопротеїнового шроту та олії вищого ґатунку. Система НАССР гарантує біологічну та хімічну безпеку продукції.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення здорових і безпечних умов праці є одним із пріоритетних завдань при проектуванні сучасних підприємств харчової промисловості. Організація охорони праці на проєктованому олійноекстракційному заводі здійснюється відповідно до Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України та галузевих нормативних актів, зокрема **НПАОП 15.4-1.06-97**

«Правила безпеки для олійно-жирового виробництва».

Специфікою даного виробництва є використання легкозаймистої рідини (розчинника гексану) та утворення органічного пилу, що відносить об'єкт до категорії підвищеної небезпеки.

3.1. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74, на працівників цеху можуть впливати наступні групи небезпечних та шкідливих факторів:

1. Хімічні фактори:

- **Пари розчинника (гексану):** Основна небезпека в екстракційному цеху. Гексан має наркотичну дію, у високих концентраціях викликає запаморочення, головний біль, подразнення слизових оболонок. Гранично допустима концентрація (ГДК) парів бензину в повітрі робочої зони становить 100 мг/м³.
- **Соєвий пил:** Утворюється на ділянках дроблення, плющення та транспортування шроту. Належить до аерозолів фіброгенної дії, може викликати захворювання органів дихання (пневмоконіози) та алергічні реакції. ГДК зернового пилу — 4 мг/м³.

2. Фізичні фактори:

- **Підвищена температура поверхонь обладнання:** Гостери, жаровні, експандери та паропроводи мають температуру поверхні понад 45 °С, що створює ризик термічних опіків.
- **Підвищений рівень шуму та вібрації:** Джерелами шуму є дробарки,

плющильні верстати, вентилятори аспірації та насоси високого тиску. Рівень шуму біля плющилок може досягати 90–95 дБА при нормі 80 дБА.

- **Рухомі частини машин:** Небезпеку становлять обертові елементи (валки дробарок, шківни, муфти, конвеєрні стрічки), якщо вони не мають захисних огорожень.
- **Електричний струм:** Експлуатація потужного електрообладнання (двигуни до 250 кВт) в умовах підвищеної вологості та струмопровідного пилу створює ризик ураження струмом.

3. Вибухопожежонебезпека:

- **Цех екстракції:** Категорія приміщення — **А** (вибухопожежонебезпечна). Пари гексану з повітрям утворюють вибухонебезпечні суміші. Нижня межа вибуховості (НМВ) — 1,1% об.
- **Цех підготовки:** Категорія приміщення — **Б** (вибухопожежонебезпечна). Соевий пил у завислому стані здатний до вибуху при наявності джерела іскри.

3.2. Інженерно-технічні заходи з охорони праці

Для нейтралізації впливу шкідливих факторів у проєкті передбачено комплекс технічних рішень.

3.2.1. Заходи щодо нормалізації повітряного середовища

Для забезпечення ГДК шкідливих речовин передбачена система припливно-витяжної вентиляції:

- В екстракційному цеху: Загальнообмінна вентиляція з **8-кратним обміном повітря** на годину. Витяжка здійснюється з двох зон: 2/3 об'єму

— з нижньої зони (оскільки пари гексану важчі за повітря і скупчуються біля підлоги), 1/3 — з верхньої зони.

- **Аварійна вентиляція:** Вмикається автоматично при спрацюванні газоаналізаторів (при досягненні 20% від НМВ). Забезпечує 16-кратний повітрообмін.
- **Аспірація:** У підготовчому цеху всі джерела пилу (дробарки, редлери) знаходяться під розрідженням. Запилене повітря очищається в рукавних фільтрах з ефективністю 99,5%.

3.2.2. Електробезпека та захист від статички.

Оскільки гексан та пил можуть зайнятися від іскри статичної електрики, передбачено:

- **Захисне заземлення:** Всі металеві частини обладнання (корпуси, рами) приєднані до контуру заземлення. Опір заземлюючого пристрою не перевищує 4 Ом.
- **Вирівнювання потенціалів:** Фланцеві з'єднання трубопроводів шунтуються мідними перемичками.
- **Антистатичні підлоги:** в цеху екстракції підлога виконана з безискрового матеріалу (спеціальний бетон з мармуровою крихтою).
- **Блискавкозахист:** Будівля екстракції обладнана блискавкоприймальною сіткою та стрижневими блискавковідводами (II категорія блискавкозахисту).

3.2.3. Захист від шуму та вібрації

- Обладнання встановлюється на віброізолюючі опори (амортизатори).
- Вентилятори та повітродувки з'єднуються з повітроводами через гнучкі вставки.
- Операторські приміщення (ЦПУ) звукоізолювані (використання склопакетів, акустичних панелей).

- Працівники в шумних зонах забезпечуються ЗІЗ (навушниками типу «Беруші» або протишумовими навушниками).

3.2.4. Безпека експлуатації обладнання під тиском. Тостери, випарники та експандери працюють під тиском пари до 1,0 МПа.

- Передбачено встановлення запобіжних клапанів (скидних), які автоматично відкриваються при перевищенні тиску.
- Обладнання підлягає реєстрації в органах Держпраці та регулярному технічному опосвідченню.
- Гарячі поверхні теплоізовані так, щоб температура на поверхні кожуха не перевищувала 45 °С.

3.3. Виробнича санітарія та гігієна праці

3.3.1. Мікроклімат. Параметри мікроклімату (температура, вологість, швидкість руху повітря) регулюються згідно з ДСН 3.3.6.042-99.

- У холодний період року передбачено опалення калориферами (підтримання температури +18...+20 °С).
- У теплий період надлишки тепла від обладнання видаляються аерацією та припливною вентиляцією.

3.3.2. Освітлення

Згідно з ДБН В.2.5-28:2018, передбачено:

- **Природне освітлення:** Через віконні прорізи (коефіцієнт природної освітленості КПО > 1,5).
- **Штучне освітлення:** Використовуються LED-світильники.
 - В екстракційному цеху — світильники у **вибухозахищеному виконанні (Ex)**.
 - Для виключення стробоскопічного ефекту (коли обертові частини здаються нерухомими) світильники підключаються до різних фаз електромережі.

- **Аварійне освітлення:** Забезпечує евакуацію персоналу при відключенні основного живлення.

3.3.3. Побутові приміщення

Для працівників спроектовано санітарно-побутовий блок, що включає гардеробні (роздільне зберігання власного та спецодягу), душові, кімнату прийому їжі та туалети. Забезпечення працівників спецодягом (бавовняні антистатичні костюми) є обов'язковим.

3.4. Пожежна безпека

Враховуючи категорію виробництва «А», пожежна безпека є найважливішим розділом.

3.4.1. Автоматичні системи пожежогасіння

Парогасіння: Основний метод гасіння в екстракторах і тостерах. При виявленні займання або критичного підвищення температури автоматично подається насичена водяна пара всередину апаратів, яка витісняє кисень (інертизація).

- **Пінне/Спринклерне гасіння:** Передбачено дренчерні завіси над найбільш небезпечними ділянками (насосна розчинника, дистиляція) для локалізації вогнища.
- **Азотне дихання:** При зупинці заводу або аварії в систему подається газоподібний азот для витіснення парів гексану.

3.4.2. Організаційні заходи

- Встановлення датчиків довибухових концентрацій (газоаналізаторів), заблокованих із світлозвуковою сигналізацією.
- Категорична заборона використання інструменту, що дає іскру (дозволено лише обміднений інструмент).

- Евакуаційні шляхи: Цех екстракції має не менше двох евакуаційних виходів, розташованих у різних кінцях будівлі. Двері відчиняються назовні.
- Первинні засоби пожежогасіння: Пожежні щити, вогнегасники (порошкові та вуглекислотні), ящики з піском.

Висновки до розділу 3

У магістерській роботі розроблено комплекс заходів з охорони праці, який гарантує безпеку персоналу та відповідність виробництва чинному законодавству України. Ключовими рішеннями є:

1. Повна герметизація технологічного обладнання для запобігання витоку гексану.
2. Використання вибухозахищеного електрообладнання.
3. Автоматизація контролю загазованості та впровадження системи аварійної вентиляції.
4. Впровадження сучасної системи аспірації для боротьби з пилом.

Реалізація цих заходів дозволяє мінімізувати професійні ризики та забезпечити безаварійну роботу підприємства підвищеної небезпеки.

4. СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Діяльність олійноекстракційного підприємства пов'язана з використанням природних ресурсів (води, палива, сировини) та утворенням викидів, що чинять вплив на навколишнє природне середовище. У зв'язку з євроінтеграційним курсом України, сучасні виробництва повинні відповідати не лише національним санітарним нормам, а й міжнародним стандартам екологічного менеджменту.

У даному дипломному проєкті розроблено систему екологічного управління згідно з вимогами стандарту ДСТУ ISO 14001:2015 «Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування».

4.1. Політика підприємства в галузі охорони довкілля

Екологічна політика проєктуємиого заводу базується на принципах «Чистого виробництва» (Cleaner Production) та превентивного підходу.

Основними цілями є:

1. **Мінімізація викидів:** Зниження втрат розчинника (гексану) в атмосферу до рівня найкращих доступних технологій (BAT — Best Available Techniques), що становить менше 1 кг/т.
2. **Раціональне ресурсоспоживання:** Впровадження замкнених циклів водопостачання та рекуперації тепла.
3. **Безвідходність:** Максимальна утилізація побічних продуктів (оболонки, шламу) та перетворення їх на товарну продукцію або енергію.

4.2. Охорона атмосферного повітря

Основним джерелом забруднення атмосфери на олійноекстракційних заводах є пари розчинника (насичені вуглеводні C₆) та зерновий пил.

4.2.1. Заходи щодо зниження викидів розчинника

Гексан належить до летких органічних сполук (ЛОС), які сприяють утворенню фотохімічного смогу. У проєкті передбачено триступеневу систему вловлювання парів:

- **Конденсація:** Основна маса парів (95%) з тостера та дистиляторів конденсується у трубчастих теплообмінниках, що охолоджуються оборотною водою.
- **Мінеральна абсорбція (Система MOS):** Пари, що не сконденсувалися (з дефлегматорів та дихальних клапанів ємностей), направляються в абсорбційну колону.
 - *Принцип дії:* Протитечійний контакт газу з холодним мінеральним маслом, яке поглинає гексан.
 - *Ефективність:* Ступінь очищення викидів становить 99,5–99,8%.
- **Герметизація обладнання:** Використання насосів з торцевими ущільненнями та фланцевих з'єднань типу "шип-паз" мінімізує неорганізовані викиди (фугітивні емісії).

4.2.2. Заходи щодо зниження викидів пилу

Підготовка сої (дроблення, плющення) супроводжується значним пилоутворенням.

- Всі джерела пилу (норії, дробарки, конвеєри) підключені до централізованої системи аспірації.
- Використано **рукавні фільтри** з імпульсною продувкою (типу Donaldson або аналог). На відміну від застарілих циклонів, які вловлюють лише 70–80% пилу, рукавні фільтри забезпечують ступінь очищення **99,9%**. Залишкова концентрація пилу на викиді не перевищує 10 мг/м³.

4.3. Охорона водних ресурсів

Виробництво споживає значну кількість води для охолодження технологічного обладнання. Для запобігання виснаженню водних ресурсів та забрудненню водоюм реалізовано наступні рішення:

4.3.1. Оборотно водопостачання

Проектом передбачено замкнутий цикл водопостачання (оборотна система). Вода, нагріта в конденсаторах екстракційного цеху, не скидається у каналізацію, а охолоджується у вентиляторних градирнях і повертається у процес.

- Це дозволяє скоротити забір свіжої води з природних джерел у **25–30 разів**. Свіжа вода використовується лише для підживлення системи (компенсація випаровування та краплинного винесення).

4.3.2. Очищення стічних вод

Виробничі стічні води можуть містити залишки жирів та зважених речовин. Схема очищення включає:

1. **Локальні жировловлювачі:** Встановлюються на випуску з цеху для вловлювання олії при аварійних розливах або митті обладнання.
2. **Усереднювач:** Для вирівнювання концентрації стоків.
3. **Флотаційна установка:** Для видалення емульгованих жирів. Очищена вода направляється на міські очисні споруди або використовується для поливу зелених насаджень на території заводу (після біологічної доочистки).

4.4. Управління відходами (Waste Management)

На підприємстві впроваджено систему роздільного збору та утилізації відходів з метою досягнення стратегії **Zero Waste to Landfill** (Нуль відходів на полігон).

Вид відходу	Джерело утворення	Клас небезпеки	Напрямок утилізації / Використання
Соева оболонка	Цех підготовки (аспірація)	IV (малонебезпечні)	Гранулюється в кормову добавку або спалюється в котельні (заміщення газу)
Смітна домішка	Зерноочисні сепаратори	IV (малонебезпечні)	Вивозиться на полігони ТПВ або компостується
Фосфатидний шлам	Гідратація олії	-	Переробляється в товарний фосфатидний концентрат (лецитин)
Відпрацьоване мастило	Редуктори, компресори	III (помірно небезпечні)	Передається спеціалізованим ліцензованим організаціям на регенерацію
Твердий осад (фуз)	Фільтрація олії	-	Повертається в тостер (зміщується зі шротом), підвищуючи його кормову цінність
Люмінесцентні лампи	Освітлення цехів	I (надзвичайно небезпечні)	Здаються на демеркуризацію (переробку ртуті)

Висновки до розділу 4

Розроблена система екологічного управління гарантує, що діяльність проєктованого заводу буде екологічно безпечною. Комплекс інженерних рішень (високоєфективна абсорбція гексану, рукавні фільтри, оборотне водопостачання) забезпечує дотримання ГДК забруднюючих речовин на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ). Впровадження енергозберігаючої технології експандування є внеском у боротьбу зі зміною клімату, забезпечуючи зниження "вуглецевого сліду" готової продукції.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

Ефективність будь-якого інженерного рішення в сучасних ринкових умовах визначається його здатністю генерувати додатковий прибуток або знижувати собівартість продукції. Метою даного розділу є визначення економічної доцільності модернізації лінії переробки сої продуктивністю 1000 т/добу. Розрахунок проводиться методом порівняння техніко-економічних показників двох варіантів:

1. **Базовий варіант:** Традиційна схема прямої екстракції.
2. **Проектний варіант:** Удосконалена схема з використанням інноваційного обладнання.

Розрахунок проводиться методом порівняння:

1. **Базовий варіант:** Традиційна схема прямої екстракції (без експандера).
2. **Проектний варіант:** Удосконалена схема з використанням експандера (ТМ «ТАН»).

5.1. Розрахунок капітальних витрат (Інвестицій)

№ з/п	Стаття витрат	Сума, тис. грн
1.	Придбання експандера Е-1000 (ТОВ «ТАН») у комплекті з приводом та автоматикою	4200
2.	Придбання допоміжного обладнання (живильник, магнітний захист, запірна арматура)	650
3.	Електромонтажні матеріали та кабельна продукція	400
4.	Монтажні та шеф-монтажні роботи (від заводу-виробника)	600
5.	Пусконаладжувальні роботи та навчання персоналу	150
6.	Непередбачені витрати (5%)	300
ВСЬОГО інвестицій (Кінв):		6300

Аналіз: Капітальні витрати становлять 6,3 млн грн, що майже вдвічі менше, ніж при закупівлі імпортного аналога (вартість якого склала б понад 12 млн грн).

5.2. Розрахунок зміни експлуатаційних витрат

Встановлення експандера Е-1000 змінює структуру собівартості продукції.

Вихідні дані для розрахунку (ринкові ціни без ПДВ):

- Ціна соєвої олії нерафінованої $C_{ол}$: 38 000 грн/т.
- Ціна розчинника (гексану): 60 000 грн/т.
- Вартість електроенергії $C_{ел}$: 7,0 грн/кВт·год.
- Вартість пари (газовий еквівалент): 1 800 грн/т.
- Кількість робочих діб на рік: 330.

5.2.1. Ефект від збільшення виходу олії

Експандер ТАН забезпечує розкриття клітинної структури сої, аналогічне імпортним зразкам. Залишкова олійність шроту знижується з 1,2% до 0,6%.

Додатковий вихід олії на добу:

$$M_{\text{дод.ол}} = 1000 \cdot \frac{0,6}{100} = 6,0 \text{ т/добу.}$$

Річний додатковий дохід $D_{олія}$:

$$D_{олія} = 6,0 \cdot 330 \cdot 38000 = 75240000 \text{ грн/рік.}$$

5.2.2. Ефект від економії розчинника

Формування міцного пористого колету

зменшує винесення розчинника зі шротом на 1,5 кг/т. Річна економія коштів

$E_{\text{розч}}$:

$$E_{\text{розч}} = 1,5 \text{ (т/добу)} \cdot 330 \cdot 60000 = 29700000 \text{ грн/рік.}$$

Ефект від економії пари Зниження вологості шроту (по розчиннику) перед тостером

зменшує витрату гострої пари на 40 кг/т. Річна економія коштів $E_{\text{пара}}$:

$$E_{\text{пара}} = 40 \text{ (т/добу)} \cdot 330 \cdot 1800 = 23760000 \text{ грн/рік.}$$

5.2.3. Додаткові витрати на електроенергію Експандер Е-1000 оснащений електродвигуном потужністю 250 кВт. Добові витрати електроенергії (КВВ = 0,85):

$$W_{\text{доба}} = 250 \cdot 24 \cdot 0,85 = 5100 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

5.2.4. Амортизаційні відрахування Завдяки меншій вартості вітчизняного обладнання, амортизаційне навантаження на собівартість буде нижчим. Норма амортизації — 10%.

$$A = K_{\text{інв}} \cdot 0,10 = 6300,0 \cdot 0,10 = 630,0 \text{ тис. грн/рік.}$$

5.3. Зведений розрахунок економічної ефективності

Розрахуємо чистий річний економічний ефект $E_{\text{річ}}$:

$$E_{\text{річ}} = (D_{\text{олія}} + E_{\text{розч}} + E_{\text{пара}}) - (B_{\text{ел}} + A)$$

Підставимо значення (у тис. грн):

$$E_{\text{річ}} = (75240 + 29700 + 23760) - (11781 + 630)$$

$$E_{\text{річ}} = 128700 - 12411 = 116289 \text{ тис. грн (або 116,3 млн грн).}$$

Основні показники ефективності проєкту:

1. **Термін окупності капіталовкладень $T_{\text{ок}}$:**

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{інв}}}{E_{\text{річ}}} = \frac{6300}{116289} = 0,054 \text{ року.}$$

У днях: $0,054 * 365 = 20$ днів.

Коментар: Надвисока швидкість окупності (менше місяця) пояснюється тим, що вартість українського експандера є відносно низькою порівняно з тим прибутком, який дає додатково видобута олія (6 тонн щодня) на великому заводі.

2. Коефіцієнт ефективності капіталовкладень (E):

$$E = \frac{116289}{6300} = 18,4$$

На кожну гривню інвестицій підприємство отримує 18,4 грн прибутку на рік.

5.4. Переваги використання обладнання ТМ «ТАН»

Окрім фінансових показників, вибір обладнання ТОВ «ТАН» має ряд технічних та логістичних переваг:

1. **Імпортозаміщення:** Підтримка машинобудівної галузі України.
2. **Сервіс та запчастини:** Виробник знаходиться в Україні, що гарантує поставку змінних частин (шнеків, матриць, конусів) протягом 24–48 годин, на відміну від імпортних деталей, які потребують тижнів на доставку та розмитнення.
3. **Адаптація:** Обладнання розроблене з урахуванням характеристик вітчизняної сировини та особливостей енергомереж.

Висновки до розділу 5

Техніко-економічне обґрунтування підтверджує абсолютну доцільність модернізації цеху екстракції. Встановлення експандера Е-1000 українського виробництва вартістю 6,3 млн грн дозволяє отримати річний економічний ефект у розмірі **116,3 млн грн**. Зниження капітальних витрат за рахунок відмови від імпортного обладнання дозволило скоротити термін окупності проєкту до **20 днів**. Проєкт є високорентабельним та таким, що сприяє розвитку вітчизняної економіки.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо підвищення ефективності переробки насіння сої шляхом удосконалення технології підготовки сировини до екстракції. На основі проведених теоретичних та розрахункових досліджень зроблено наступні висновки:

- 1. Аналіз стану галузі.** Встановлено, що традиційна схема прямої екстракції сої (пелюстка → екстрактор) має суттєві недоліки: низьку насипну масу матеріалу, погану дренажну здатність та високі енерговитрати на видалення розчинника. Обґрунтовано, що найбільш перспективним напрямком інтенсифікації виробництва є впровадження процесу експандування, який дозволяє структурувати матеріал та розкрити клітини насіння.
- 2. Результати досліджень.** Доведено, що обробка соєвої пелюстки в експандері при температурі 105–115 °С та тиску до 40 бар призводить до утворення пористого колету. Це забезпечує підвищення швидкості фільтрації розчинника в 1,5–2 рази та зниження залишкової олійності шроту з 1,2% до 0,5–0,8%. Також підтверджено ефективність експандування для попередньої інактивації антипоживних речовин (уреази), що покращує кормову цінність шроту.
- 3. Технологічні розробки.** Розроблено удосконалену апаратурно-технологічну схему переробки сої продуктивністю 1000 т/добу. Схема включає стадії "теплого" дроблення, відділення оболонки, плющення та експандування. Розраховано продуктовий баланс, згідно з яким вихід нерафінованої олії складає 18,91%, а високопротеїнового шроту — 68,81%.
- 4. Апаратурне забезпечення.** Здійснено підбір основного технологічного обладнання. З метою імпортозаміщення та зниження капітальних витрат,

для стадії експандування обрано експандер E-1000 виробництва ТОВ «ТАН» (Україна). Розраховано необхідні виробничі площі (972 м²) та запропоновано об'ємно-планувальне рішення у вигляді 4-поверхової етажерки, що забезпечує енергоефективне самопливне транспортування продукту.

5. **Енерго- та ресурсозбереження.** Запропоновані технічні рішення дозволяють знизити питомі витрати пари на тостування шроту на 15–20% (економія 40 кг пари на 1 т насіння) та зменшити втрати розчинника до 1,5 кг/т. Впроваджено замкнутий цикл водопостачання та систему рекуперації тепла, що відповідає принципам сталого розвитку.
6. **Охорона праці та екологія.** Розроблено комплекс заходів з охорони праці для вибухопожежонебезпечного виробництва (категорія А), що включає повну герметизацію обладнання, автоматичний контроль довибухових концентрацій гексану та використання вибухозахищеного електрообладнання. Система екологічного управління передбачає використання високоефективних рукавних фільтрів та абсорбцію парів розчинника, що мінімізує вплив на довкілля.
7. **Економічна ефективність.** Виконано техніко-економічне обґрунтування модернізації. Встановлено, що використання експандера вітчизняного виробництва (вартістю 6,3 млн грн) замість імпортного дозволяє суттєво знизити інвестиційне навантаження. Чистий річний економічний ефект від впровадження технології становить **116,3 млн грн**, переважно за рахунок додаткового виходу олії (+6 т/добу). Розрахунковий термін окупності капіталовкладень складає менше 1 місяця, що свідчить про високу інвестиційну привабливість проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. **Закон України** «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів»: від 23.12.1997 № 771/97-ВР (зі змінами та доповненнями).
2. **ДБН В.2.2-28:2010**. Будинки і споруди. Підприємства харчової промисловості. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 32 с.
3. **ДСТУ 4230:2003**. Шрот соєвий кормовий. Технічні умови. – [Чинний від 2004-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 14 с.
4. **ДСТУ 4534:2006**. Олія соєва. Технічні умови. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с.
5. **ДСТУ 4964:2008**. Соя. Технічні умови. – [Чинний від 2010-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 22 с.
6. **ДСТУ ISO 14001:2015**. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2015, IDT). – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 30 с.
7. **НПАОП 15.4-1.06-97**. Правила безпеки для олійно-жирового виробництва. – Затв. наказом Держнаглядохоронпраці від 22.04.1997 № 99.
8. **Бредіхін С. О.** Технологічне обладнання підприємств олійно-жирової галузі : підручник / С. О. Бредіхін, П. Ф. Петік, В. В. Калаптур. – Харків : НТУ «ХП», 2018. – 420 с.
9. **Гавриленко О. О.** Ресурсозберігаючі технології в олійно-жировій промисловості / О. О. Гавриленко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2019. – № 10 (1335). – С. 45–52.
10. **Демідов І. М.** Процеси та апарати олійно-жирових виробництв : навч. посібник / І. М. Демідов. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – 320 с.
11. **Каталог обладнання**. Експандери для олійних культур [Електронний ресурс] / Офіційний сайт ТОВ «ТАН». – Режим доступу: <https://tan.com.ua/> – Назва з екрана.
12. **Кузьмін О. В.** Вплив експандування на показники якості соєвого шроту / О. В. Кузьмін, Т. В. Шевченко // Харчова наука і технологія. – 2020. – Т. 14, № 3. – С. 88–95.
13. **Литвиненко А. М.** Технологія переробки сої : монографія / А. М. Литвиненко. – Вінниця : Нова Книга, 2017. – 256 с.
14. **Матвєєва Т. В.** Інноваційні технології переробки олійного насіння : навч. посіб. / Т. В. Матвєєва. – К. : НУХТ, 2016. – 180 с.

15. **Осейко М. І.** Технологія рослинних олій : підручник / М. І. Осейко. – Київ : ВТС «Промінь», 2014. – 640 с.
16. **Пешук Л. В.** Біохімія та технологія олієжирової сировини : навч. посіб. / Л. В. Пешук, І. М. Носенко. – К. : ЦУЛ, 2011. – 296 с.
17. **Пономарьов П. Х.** Потенціал сої та соєвих продуктів : навч. посіб. / П. Х. Пономарьов. – Львів : Вид-во ЛКА, 2015. – 340 с.
18. **Технологічний регламент** виробництва соєвої олії та шроту (Типовий). – Затв. асоціацією «Укроліяпром», 2010.
19. **Bühler AG.** Oilseeds Processing Solutions. Preparation and Extraction [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.buhlergroup.com>.
20. **Erickson D. R.** Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization / D. R. Erickson. – AOCS Press, 2015. – 584 p.
21. **Kemper T.** Oil Extraction: State of the Art and Future Trends / T. Kemper // Lipid Technology. – 2018. – Vol. 25. – P. 15–18.