

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

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

Проект цеху з виробництва олії лляної

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу,
групи ХТ-1-21 освітньо-професійної програми
«Харчові технології» зі спеціальності
181 «Харчові технології»

_____ Максим МИРНИЙ

Керівник: _____ Наталія СОВА

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«07» травня 2025 р.

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

Мирному Максиму Олеговичу

1. Тема роботи: «Проект цеху з виробництва олії лляної».

Керівник роботи: Сова Наталія Анатоліївна, кандидатка технічних наук, доцентка, затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» травня 2025 року № 963.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 09 червня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія виробництва олії лляної. 2. Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Аналітичний огляд. 2 Технологічна частина. 3 Проектна частина. 4 Планування розміщення обладнання. 5 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 6 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Постанова питання. 2 Мета і завдання досліджень. 3 Технологічна схема. 4 Видобуток олії з використанням шнекових пресів. 5 Планування розміщення обладнання. 6 Економічні показники. 7 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 07 травня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	07.05-08.05.25	виконано
2	Аналітичний огляд	09.05-14.05.25	виконано
3	Вибір технології виробництва лляної олії	15.05-16.05.25	виконано
4	Розрахунок технологічних витрат	17.05-23.05.25	виконано
5	Планування розміщення обладнання	24.05-31.05.25	виконано
6	Охорона праці та захист навколишнього середовища	01.06-02.06.25	виконано
7	Організаційно-економічна частина	02.06-03.06.25	виконано
8	Техніко-економічне обґрунтування	04.06-05.06.25	виконано
9	Підготовка демонстраційного матеріалу	06.06-09.06.25	виконано

Здобувач вищої освіти

_____ Максим МИРНИЙ
(підпис)

Керівник роботи

_____ Наталія СОВА
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Проект цеху з виробництва олії лляної»

Кваліфікаційна робота: 66 сторінок, 16 рисунків, 3 таблиці, 0 додатків, 30 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – технологія виробництва лляної олії.

Предмет дослідження – зв'язок показників якості лляної олії та технологічних параметрів процесу її виробництва.

Метою роботи є обґрунтування та розроблення енергоефективної технології виробництва лляної олії з урахуванням особливостей сировини, вимог до якості продукції, технічних параметрів обладнання та економічної доцільності виробництва.

У роботі висвітлено особливості виробництва олії з насіння льону олійного, зокрема порівняно технології пресування й екстракції за якістю та виходом продукту. Розглянуто підготовку сировини, конструкцію шнекових пресів, енергетичні та водні витрати, що впливають на ефективність процесу. Обґрунтовано принципи планування цеху з урахуванням безперервності виробництва, охорони праці та автоматизації. Економічний розрахунок підтверджує прибутковість виробництва з рентабельністю 15,2 % і прибутком 2795 грн/т сировини.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЛЬОН ОЛІЙНИЙ, ЛЛЯНА ОЛІЯ, ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ, ХОЛОДНЕ ПРЕСУВАННЯ, ГАРЯЧЕ ПРЕСУВАННЯ, ЕКСТРАКЦІЯ, ШНЕКОВИЙ ПРЕС, МАСОВИЙ БАЛАНС, РОЗМІЩЕННЯ ОБЛАДНАННЯ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ, РЕНТАБЕЛЬНІСТЬ, МАКУХА, АГРОПРОМИСЛОВИЙ КОМПЛЕКС.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	10
1.1 ВИРОЩУВАННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО	10
1.2 СКЛАД ЛЛЯНОЇ ОЛІЇ	11
1.3 ВИКОРИСТАННЯ ЛЛЯНОЇ ОЛІЇ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	15
Висновки за розділом.....	16
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	17
2.1 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЛЛЯНОЇ ОЛІЇ	17
2.2 ПОПЕРЕДНЯ ПІДГОТОВКА НАСІННЯ	19
2.3 ВИДОБУТОК ОЛІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ШНЕКОВИХ ПРЕСІВ	30
Висновки за розділом.....	38
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	39
3.1 МАСОВИЙ БАЛАНС МЕХАНІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИДОБУТКУ ОЛІЇ.....	39
3.2 РОЗРАХУНОК ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	40
3.3 РОЗРАХУНОК ПОТРЕБИ В ПАРІ	42
3.4 РОЗРАХУНОК ПОТРЕБИ У ВОДІ	44
3.5 РОЗРАХУНОК ПОТРЕБИ У СТИСНЕНОМУ ПОВІТРІ	45
Висновки за розділом.....	46
4 ПЛАНУВАННЯ РОЗМІЩЕННЯ ОБЛАДНАННЯ	48
4.1 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА РОЗМІЩЕННЯ ОБЛАДНАННЯ В ЦЕХУ З ВИРОБНИЦТВА ЛЛЯНОЇ ОЛІЇ	48
Висновки за розділом.....	53
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	54
5.1 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПИТАННЯ БЕЗПЕКИ	54
5.2 ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	56
Висновки за розділом.....	58
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	59
6.1 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЦЕХУ З ВИРОБНИЦТВА ЛЛЯНОЇ ОЛІЇ	59
Висновки за розділом.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	61
БІБЛІОГРАФІЯ	63

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу України надзвичайно важливого значення набуває поглиблена переробка сільськогосподарської продукції, зокрема насіння олійних культур. Одним із перспективних напрямів є виробництво лляної олії – натурального продукту з високою біологічною цінністю, що має широке застосування у харчовій промисловості, медицині, фармацевтиці та косметології. Лляна олія є джерелом незамінних жирних кислот ω -3 і ω -6, а також вітамінів А, Е, F, що визначає її високу поживну цінність та сприятливий вплив на організм людини. Враховуючи світові тенденції переходу до здорового харчування, попит на натуральні олії, зокрема лляну, невідпинно зростає, що створює передумови для розвитку виробничих потужностей у цій сфері [5].

Розробка проєкту цеху з виробництва лляної олії має на меті створення сучасного технологічного комплексу, який би забезпечував високу якість кінцевого продукту при максимальній ефективності виробничого процесу [24]. Проєктування цеху включає в себе обґрунтування вибору технологічної схеми, визначення необхідного обладнання, розрахунок матеріальних і енергетичних потоків, планування просторової організації виробництва, а також аналіз економічної доцільності та екологічної безпеки об'єкта.

Виробництво лляної олії передбачає послідовне проходження кількох основних етапів: підготовка насіння до переробки, очищення, сушіння, дроблення або плющення, безпосереднє віджимання олії (методами холодного або гарячого пресування), фільтрація та, за необхідності, рафінація. Кожен з цих етапів потребує застосування спеціалізованого обладнання – від установок для попередньої обробки насіння до пресів, фільтрів, ємностей для зберігання продукту та макухи. Важливим завданням при розробці проєкту є оптимізація технологічного процесу з урахуванням можливості автоматизації виробничих операцій, що дозволяє зменшити витрати праці, підвищити якість продукції та забезпечити стабільність виробництва.

Особливу увагу слід приділити вибору технологічного методу отримання олії. Холодне пресування дозволяє зберегти максимальну кількість біологічно активних речовин, однак характеризується нижчим виходом олії порівняно з гарячим віджиманням або екстракційними методами. З огляду на ринкові вимоги до натуральності та якості продукту, доцільним є проектування цеху саме під технологію холодного або гарячого пресування з подальшою мінімальною обробкою олії [19, 21].

Ще одним важливим аспектом є забезпечення високих санітарно-гігієнічних вимог у цеху. Виробничі приміщення повинні бути спроектовані таким чином, щоб запобігти забрудненню продукту, забезпечити належні умови для роботи персоналу та відповідати чинним санітарним нормам та правилам. Особливу увагу слід звернути на організацію вентиляції, водопостачання, водовідведення, освітлення та охорону праці. Ефективне планування логістики всередині цеху також сприяє підвищенню продуктивності виробництва та зниженню витрат [22].

У процесі розробки проєкту велике значення має вибір правильного розташування цеху. Доцільним є розміщення виробничого об'єкта у регіонах, де вирощують значний обсяг льону олійного, що зменшить витрати на транспортування сировини. Також слід враховувати наявність інженерних комунікацій, доступність трудових ресурсів, близькість до потенційних ринків збуту та екологічні умови місцевості [15].

Поряд із технологічними і конструктивними питаннями, обов'язковим етапом проектування є економічне обґрунтування проєкту. Потрібно оцінити загальну вартість будівництва цеху, вартість закупівлі обладнання, витрати на монтаж, запуск виробництва та експлуатаційні витрати. Важливим є розрахунок окупності проєкту, внутрішньої норми прибутку, періоду повернення інвестицій та інших показників економічної ефективності. Для забезпечення інвестиційної привабливості проєкт має демонструвати високу рентабельність та стабільну фінансову стійкість.

Екологічні аспекти виробництва також потребують уваги на етапі проектування. Виробництво лляної олії відносять до маловідходних технологій,

оскільки основним побічним продуктом є макуха або шрот – цінна кормова добавка для тваринництва. Однак необхідно забезпечити правильне поводження з технологічними відходами, стічними водами та викидами в атмосферу відповідно до екологічних стандартів. Передбачення заходів із мінімізації впливу виробництва на навколишнє середовище є важливою складовою сучасної концепції сталого розвитку.

Таким чином, розробка проєкту цеху з виробництва лляної олії є багатоплановим завданням, що вимагає комплексного підходу. Успішна реалізація такого проєкту передбачає не лише детальне технічне проєктування виробничого процесу, але й врахування економічних, екологічних та соціальних аспектів. Сучасний підхід до планування виробництва, орієнтований на ефективність, якість та екологічність, дозволяє створити конкурентоспроможне підприємство, здатне зайняти гідне місце на ринку натуральних харчових продуктів.

Проведення попередніх досліджень ринку, аналіз технологічних інновацій, правильне проєктування виробничих потужностей та професійна організація управління підприємством стають запорукою успішного функціонування цеху з виробництва лляної олії. Розробка такого проєкту є важливим кроком до підвищення рівня переробки сільськогосподарської продукції в Україні, розвитку малого і середнього бізнесу в аграрній сфері та зміцнення національної економіки в цілому.

У підсумку варто зазначити, що розробка проєкту цеху з виробництва лляної олії є актуальним завданням, що має значний потенціал для комерційної реалізації. Сучасне обладнання, передові технології, високі стандарти якості та екологічна відповідальність – основні принципи, на яких базується ефективне виробництво натуральної лляної олії. Комплексний підхід до проєктування забезпечить отримання конкурентного продукту, що задовольнятиме вимоги споживачів як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринку.

Мета роботи: обґрунтувати та розробити енергоефективну технологію виробництва лляної олії з урахуванням особливостей сировини, вимог до якості

продукції, технічних параметрів обладнання та економічної доцільності виробництва.

Завдання дослідження:

- проаналізувати особливості хімічного складу та поживної цінності лляної олії, а також вплив різних способів її отримання на якість кінцевого продукту;
- оцінити сучасні технології пресування насіння льону (гарячого, холодного, екстракційного) з погляду виходу олії, збереження біологічно активних речовин і енергоспоживання;
- побудувати масовий баланс технологічного процесу та визначити оптимальні умови для зменшення втрат олії й води.
- розробити раціональну компоновку обладнання для забезпечення безперервності технологічного процесу, ефективного використання простору та безпеки обслуговування;
- обґрунтувати комплекс заходів з охорони праці на всіх етапах виробництва лляної олії;
- провести техніко-економічне обґрунтування впровадження технології з урахуванням витрат, доходів, рентабельності та можливостей вторинного використання побічних продуктів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Вирощування льону олійного

Культивування льону має багатовікову історію, однак спочатку льон вирощували переважно для отримання волокна, що використовували для виробництва лляних тканин. Назва «лляне насіння» (англійською – *linseed*) є альтернативною назвою льону, що вказує на сучасне використання насіння цієї рослини. І насіння льону, і лляне насіння є різновидами виду *Linum usitatissimum*. Сорти лляного насіння мають коротші (60–80 см висотою) і товстіші стебла з більшою кількістю гілок у порівнянні з льоном для волокна (80–120 см). Льон для волокна дає менше коробочок і менше насіння, ніж лляне насіння. Посіви, вирощені для отримання насіння, називають «лляне насіння» в Індії та Великій Британії, «flax seed» у Канаді, і «oil flax» або «seed flax» у багатьох європейських країнах. Культури, які вирощують і для насіння, і для волокна, зазвичай називають льоном подвійного призначення або льоном для волокна та насіння.

Вміст олії в найпоширеніших сортах лляного насіння може коливатися від 40 до 44 %. Завдяки високому вмісту ліноленової кислоти (18:3), який зазвичай перевищує 50 %, лляна олія є чудовою висихаючою олією. Її використовують переважно для технічних, а не харчових цілей, наприклад у виробництві фарб, лаків, лінолеуму та друкарських фарб. Як буде розглянуто нижче, однією з унікальних особливостей насіння льону є його багатство на ω -3 α -ліноленову кислоту, рослинні лігнани та розчинну дієтичну клітковину [1].

Ціле насіння льону їстівне і використовується у хлібопекарській та кондитерській промисловості. Крім того, їстівну лляну олію продають у магазинах здорового харчування, де її корисні властивості широко визнаються.

Льон – це однорічна культура субтропічного або помірно теплого клімату, яку переважно вирощують у Канаді, Аргентині, Індії, США, Китаї, деяких європейських країнах, в тому числі Україні. Понад 60 років тому світове виробництво лляного насіння становило близько 3,4 млн т, що перевищувало виробництво соняшникової олії

(2,5 млн т). Однак з того часу світове виробництво льону залишається на рівні 2–3 млн т, тоді як виробництво інших олійних культур значно зросло.

У 2020–2021 р.р. світове виробництво лляного насіння становило 2,34 млн т, при цьому найбільшим виробником та експортером була Канада.

Наразі більшість льону вирощують для отримання олії. Насіння зазвичай спочатку віджимають, а потім екстрагують розчинниками для отримання сирової лляної олії, яка має коричнево-бурштиновий колір. Колір олії може бути зменшений шляхом каустичного рафінування та відбілювання. Таке оброблення також видаляє «гуми» або фосфоліпіди, присутні в олії [2, 3].

1.2 Склад лляної олії

Таблиця 1.1 подає характеристики та жирнокислотний склад лляної олії високоліноленових сортів *L. usitatissimum*. Сорт насіння та кліматичні умови під час дозрівання суттєво впливають на вміст ліноленової кислоти в олії. Лляна олія містить близько 0,42 % стеролів. Основними стеролами є β -ситостерол (46 %), кампестерол (29 %), 5-авенастерол (13 %) та стигмастерол (9 %).

Таблиця 1.1 – Характеристики та жирнокислотний склад лляної олії (високоліноленові сорти)

Показник	Значення
Питома вага (Н/м ³)	0,927–0,932
Показник заломлення (20 °С)	1,478–1,482
Йодне число (%I)	170–203
Число омилення (мгКОН/г)	188–196
Неомильні речовини (%)	максимум 1,5
Жирнокислотний склад (% мас.)	
14:0	сліди
16:0	6,0 (діапазон 5–7)
16:1	0,1 (сліди–0,2)
18:0	2,5 (2–6)
18:1	19,0 (14–40)
18:2	24,1 (14–19)
18:3	47,4 (35–60)

Показник	Значення
20:0	0,5 (0,1–0,7)
Інші	0,4 (до 1,0)
Токоферолі (мг/кг)	
γ-Токоферол	5–10
α-Токоферол	430–575
δ-Токоферол	4–8
Усього токоферолів	440–588

Вміст токоферолів у лляній олії становить 440–588 мг/кг, при цьому домінує α-токоферол. Високий вміст α-ліноленової кислоти (18:3 n-3) робить олію дуже нестійкою до окиснення. При використанні в харчових продуктах вона дуже швидко надає їм «фарбовий» присмак. Тому їстівну лляну олію необхідно зберігати в холодних, безкисневих і затемнених умовах, а також захищати шляхом додавання відповідних антиоксидантних сумішей, що містять металохелатори та інгібітори кисню.

Додавання розчинного в олії екстракту паприки значно уповільнює швидкість окиснення олії. Хоча стабілізована олія мала яскраво-червоний колір, її смак залишався прийнятним при використанні як заправка до салатів.

Традиційно їстівну лляну олію отримують методом холодного віджиму. Залежно від подальшого використання, олію злегка рафінують та іноді дезодорують за низьких температур, з метою подальшого капсулювання або змішування з іншими корисними оліями.

Низька окисна стабільність лляної олії робить її непридатною для використання в їжу. Завдяки традиційним методам селекції рослин, у рамках спільного проєкту CSIRO (Співдружність наукових і промислових досліджень Австралії) та United Grain Growers Ltd із Вінніпега (Канада) було створено їстівну лляну олію. Склад жирних кислот нового олійного насіння, яке отримало назву «Лінола» (zareєстрована торгова марка CSIRO), було змінено: вміст ліноленової кислоти значно зменшено з 50 до 2 %. Це суттєво підвищило окисну стабільність олії, яка тепер є поліненасиченою і за складом жирних кислот майже ідентична соняшниковій, сафлоровій або кукурудзяній олії (табл. 1.2). Колір насіння ліноли також змінено на світло-жовтий, що дозволяє відрізнити його від (коричневатого) традиційного насіння льону. Загальноприйнята назва – «солін».

Таблиця 1.2 – Порівняння жирнокислотного складу ліноли, традиційного насіння льону та інших олій

Олійна культура	Жирна кислота (%)					
	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	Співвідношення П/Н
Лінола	6	4	16	72	2	7,4
Сафлор	7	2	12	79	—	8,8
Соняшник	7	4	16	73	—	6,6
Кукурудза	11	2	27	59	1	4,6
Соя	12	4	25	51	8	3,7
Канола (ріпак)	5	2	66	19	8	3,9
Льон	7	4	20	17	52	6,3

Наразі тривають роботи з удосконалення соліну (торгова марка лінола): зниження вмісту насичених жирних кислот, стабільне підвищення вмісту лінолевої кислоти понад 70 %, а також покращення кормових властивостей макухи.

Нову олійну культура, створену в Австралії, можна вирощувати там, де вже культивують льон та лляні сорти. Клімат Північної Європи надзвичайно сприятливий для вирощування ліноли, де неможливо вирощувати соняшник та кукурудзу. Насіння ліноли можна переробляти на наявних підприємствах стандартними методами, а макуху ліноли можна використовувати у годівлі жуйних тварин так само, як і лляну макуху.

Рафінування сирої олії ліноли звичайними технологічними етапами (гідратація, лужна рафінація, вибілювання, зимова стабілізація та дезодорація) дає бліду, нейтральну на смак олію з гарною окисною стабільністю. Аналітичні дані для сирої та рафінованої, вибіленої і дезодорованої (RBD) олії ліноли наведено у табл. 1.3.

Встановлено, що смакові якості та окисна стабільність дослідної партії дезодорованої олії ліноли порівнянні з ріпаковою (канола) олією. Управління з контролю за продуктами і ліками США (FDA) надало соліновій олії (лінола) статус GRAS (загальновизнана як безпечна) для використання як універсальної кулінарної, для смаження та салатної олії, а також як інгредієнта у виробництві маргарину, кулінарних жирів та інших харчових продуктів.

Таблиця 1.3 – Аналітичні дані для сирої та дослідної рафінованої, вибіленої і дезодорованої (RBD) олії ліноли

Параметр	Сира олія	RBD олія
Показник заломлення (46 °C)	1,4657	1,4665
Густина	0,921	0,920
В'язкість (сП)	46,8	46,4
Фосфор (мг/кг)	325	<0,5
Хлорофіл (мг/кг)	0,4	0,0
Колір	5R, 70Y	0,9R, 4,7Y
Вільні жирні кислоти (% від олеїнової)	0,3	<0,02
Йодне число (%I)	142	144
Жирнокислотний склад (% маси):		
16:00	5,6	5,6
18:00	4,0	4,0
18:01	15,9	15,9
18:02	71,8	71,9
18:03	2,0	2,0
Інші	0,7	0,6
Стероли (мг/кг):		
Брасикастерол	30	17
Кампестерол	801	530
Стігмастерол	164	96
β -Сітостерол	1608	1251
5-Авенастерол	492	430
Загалом	3095	2324
Токоферолі (мг/кг):		
γ -Токоферол	20	сліди
α -Токоферол	471	172
δ -Токоферол	16	не виявлено
Загалом	507	172

Наразі, завдяки кільком корисним дієтичним властивостям, зростає інтерес до використання насіння ліноли у хлібопекарській та кондитерській промисловості. Крім того, золотисто-жовтий колір насіння ліноли робить його привабливим для використання як декоративної посипки для випічки. І олія, і насіння нової олійної культури мають багатообіцяюче майбутнє.

1.3 Використання лляної олії у харчовій промисловості

Лляна олія має широке застосування у харчовій промисловості завдяки високому вмісту α -ліноленової кислоти (ω -3) та значній біологічній цінності. Однією з основних сфер її використання є виробництво продуктів для здорового харчування. Лляну олію додають до енергетичних батончиків, зернових сумішей, йогуртів та дієтичних хлібців, а також випускають у вигляді біологічно активних добавок у капсулах для профілактики серцево-судинних захворювань та підтримки загального здоров'я організму. Особливо популярною вона є серед прихильників правильного харчування та вегетаріанських дієт.

У харчовому виробництві лляну олію також використовують як інгредієнт для виробництва кулінарних жирів та маргаринів, хоча її застосування в цій сфері обмежене через низьку окисну стабільність. Для підвищення стійкості продукту її змішують з іншими, більш стабільними рослинними оліями. У хлібопекарській промисловості лляну олію додають до тіста для збагачення готової продукції поліненасиченими жирними кислотами. Насіння льону, природно багате на олію, широко використовують як посипку для хліба, булочок та крекерів, що додає не лише поживності, але й декоративного вигляду виробам.

Лляна олія знайшла своє застосування і у виробництві рослинних паст та спреїв. У поєднанні з насінням соняшника, гарбуза та іншими інгредієнтами її використовують для створення здорових бутербродних сумішей. Завдяки м'якому смаку та високій поживній цінності лляну олію часто застосовують для виробництва дієтичних салатних заправок. Її додають до готових продуктів разом із лимонним соком, травами і прянощами, створюючи поживні та ароматні заправки, що відповідають вимогам здорового харчування.

У кондитерській промисловості лляну олію застосовують рідше через низьку термічну стабільність. Однак насіння льону активно використовують в рецептурах печива, зернових батончиків і кондитерських виробів для збагачення їх поживної цінності. Завдяки високому вмісту клітковини, білка та ω -3, такі продукти користуються попитом серед споживачів, які прагнуть здорового способу життя.

Окрім цього, лляну олію використовують у виробництві спеціалізованого дитячого та лікувального харчування. Її включають до складу дієтичних продуктів для дітей старшого віку, людей похилого віку та осіб із підвищеною потребою в поліненасичених жирних кислотах. Це дозволяє забезпечити організм необхідними поживними речовинами, сприяючи зміцненню імунітету та покращенню загального стану здоров'я. Важливо зазначити, що через високу чутливість до окиснення лляна олія має обмежений термін зберігання. Вона швидко втрачає свої корисні властивості при контакті з киснем, світлом та високими температурами. Саме тому її використовують переважно у холодних стравах і не рекомендують для смаження або іншого термічного оброблення. Температура нагріву лляної олії не повинна перевищувати 107 °C, інакше починаються процеси руйнування корисних компонентів та утворення шкідливих сполук.

Таким чином, основними напрямками використання лляної олії у харчовій промисловості є виробництво продуктів для здорового харчування, функціональних і дієтичних продуктів, салатних заправок, хлібобулочних виробів та рослинних паст. Завдяки унікальному складу і численним корисним властивостям лляна олія залишається популярним компонентом сучасних харчових технологій, орієнтованих на виробництво натуральних, корисних та безпечних для здоров'я продуктів.

Висновки за розділом

Льон олійний (*Linum usitatissimum*) є важливою однорічною культурою, яку вирощують переважно для отримання насіння, багатого на цінну лляну олію. Лляна олія має високий вміст α -ліноленової кислоти (ω -3), стеролів і токоферолів, що забезпечує її високу біологічну цінність, але також робить нестійкою до окиснення. Для поліпшення харчових характеристик та зберігання було виведено новий сорт лляної олії «лінола» з низьким вмістом ліноленової кислоти і високою окисною стабільністю. Лляна олія та продукти з насіння льону широко використовують у виробництві продуктів для здорового харчування, що забезпечує їм перспективи подальшого розвитку на світовому ринку.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір технології виробництва лляної олії

Виробництво лляної олії широко практикують у всьому світі. Лляна олія – це рідина, яку отримують шляхом пресування висушеного насіння льону. Вона має вражаючу історію використання впродовж понад 5000 років як харчова добавка та ефективний лікарський засіб. Також лляна олія є сьомою за величиною серед світових олійних культур та найбільшою в Китаї. Активне виробництво лляної олії здійснюють у США, Канаді, Аргентині, Китаї та інших країнах Південної Азії. Загалом у світі виробляють приблизно 2,4 млн т насіння льону на рік. Далі представлені три технології виробництва лляної олії: гаряче пресування, холодне пресування та екстракція олії. Також надано інформацію про необхідне обладнання [3–5].

1. Процес виробництва лляної олії методом гарячого пресування (рис. 2.1).

Новий процес гарячого пресування – це сучасна технологія, що базується на традиційному методі пресування обсмаженого насіння льону. Використовують передову технологію виробництва, яка базується на досвіді виготовлення олії арахісу, кунжуту та інших ароматних олій. Деталі процесу включають попередню підготовку насіння льону, що використовують для виробництва високоякісної олії, за допомогою пресування при високій температурі та подальшої обробки. Після цього насіння проходить етапи механічного пресування, після чого отримана олія збирається в резервуарах. Одержана сира олія є ароматною та має високу якість. Крім того, залишки насіння можуть бути перероблені для покращення результатів. У процесі очищення олія охолоджується і фільтрується, усуваючи домішки, після чого зберігається в оптимальних умовах при низькій температурі. Переваги цього методу включають підвищення виходу олії, покращення смаку та насичення аромату [8–11].

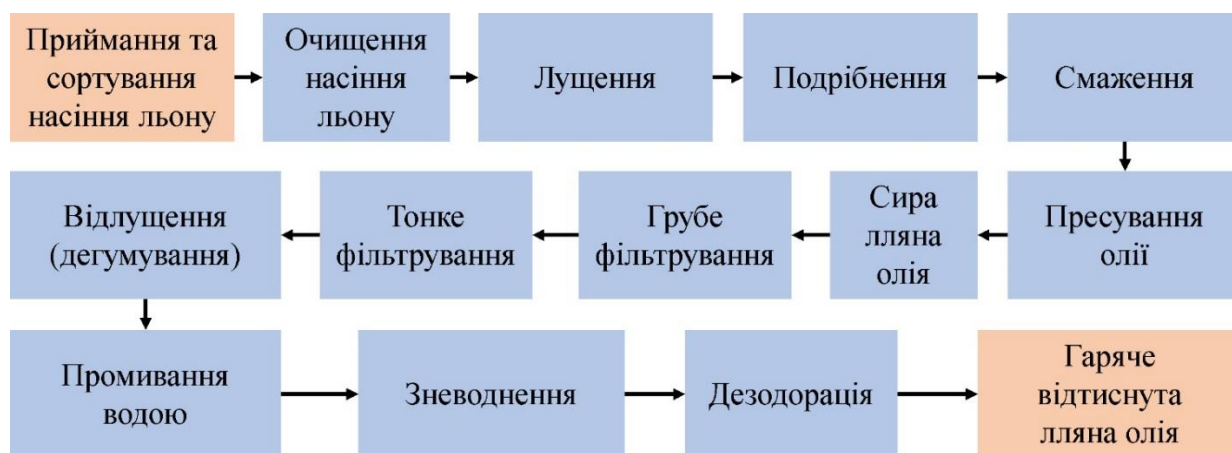


Рисунок 2.1 – Схема процесу виробництва лляної олії методом гарячого пресування

2. Процес виробництва лляної олії методом холодного пресування (рис. 2.2).

Холодне пресування означає видобуток олії шляхом фізико-механічного тиску при низьких температурах, без традиційного обсмажування чи пропарювання насіння. Таким чином, структура білків у насінні залишається неушкодженою, зберігаються природні корисні компоненти, такі як α -ліноленова кислота. Цей метод дозволяє уникнути утворення шкідливих речовин, які виникають при розпаді олій і цукрів при високих температурах, а також запобігає потемнінню кольору олії та утворенню запаху гару. Олія, отримана таким способом, має легкий смак і високу поживну цінність. Недоліками цього методу є менший вихід олії та вищі витрати на виробництво [5–9].



Рисунок 2.2 – Схема процесу виробництва лляної олії методом холодного пресування

3. Процес екстракції та рафінації лляної олії (рис. 2.3).

Екстракцію лляної олії здійснюють шляхом замочування насіння льону у розчиннику (гексан) з подальшим видобуванням олії при високій температурі. Отримана суміш органічного розчинника та олії потребує подальшого рафінування, що включає вінтеризацію, дегідратацію, вибілювання, дезодорацію. Цей метод дозволяє отримати дуже високий вихід олії, але при цьому олія втрачає більшість своїх природних поживних речовин. Крім того, залишки розчинників можуть бути присутні в готовій олії.



Рисунок 2.3 – Схема процесу виробництва лляної олії методом екстракції та рафінації лляної олії

Переваги механічного пресування. Механічний метод пресування має кілька переваг, серед яких простота процесу, низькі витрати на обладнання та висока рентабельність. Це забезпечує хорошу якість олії та макухи, а також дозволяє вести безперервне виробництво.

2.2 Попередня підготовка насіння

Розвантаження насіння. Насіння надходить або у великих контейнерах, як у промислово розвинених країнах, або у відкритих вантажівках, що перевозять мішки. Великі контейнери або відкриваються знизу, або нахиляються на гідравлічних платформах, щоб вивантажити весь вантаж у великий бункер знизу.

Бункер обладнано шнековим конвеєром, який транспортує насіння до елеватора, що подає його до попереднього очищувача.

На заводах, розташованих в портах великих споживачів, таких як Європа або Китай, насіння може транспортуватися від кораблів безпосередньо до заводу, або пневматично, або за допомогою конвеєрів. Насіння приймається на високій швидкості потоку в буферному силосі з бункерним дном, перед тим як бути надісланим до високопродуктивних попередніх очищувачів.

Коли насіння надходить в мішках, вони вивантажуються на платформу, знімаються вручну, ріжуться, і насіння вивантажується в підземний конвеєр. Конвеєр зазвичай має ланцюговий тип із захисними парасолями на точках подачі, щоб уникнути ударних навантажень на ланцюг (рис. 2.4). Платформа може приймати кілька вантажівок одночасно для одночасного розвантаження, а конвеєр оснащений кількома входами для цієї мети.

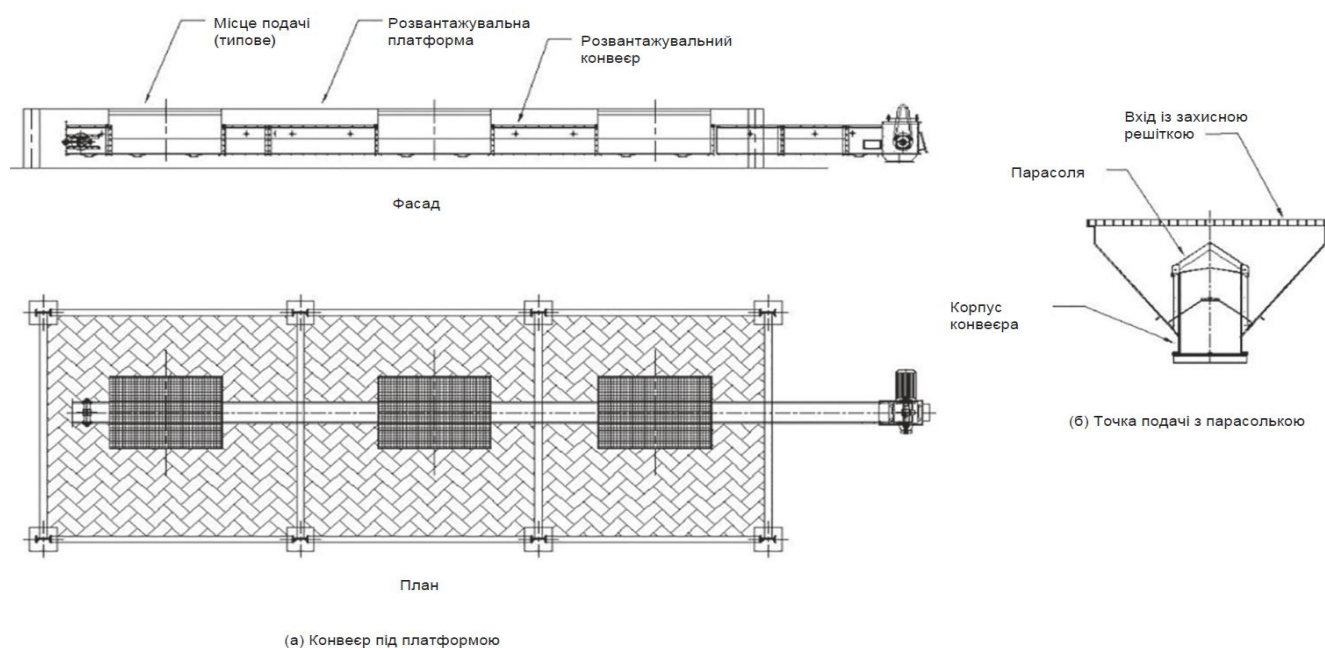


Рисунок 2.4 – Розвантажувальний конвеєр

Вивантаження спричиняє утворення хмари пилу, яку необхідно уловлювати. Для цього передбачено всмоктувальну камеру. Для масового вивантаження достатньо однієї великої камери. Для вивантаження мішків, однак, необхідно передбачити кілька менших камер, розташованих над усіма точками подачі, з'єднаних із загальним повітропроводом. Потім пил всмоктується через фільтр

мішковий, щоб викидне повітря було чистим. Пил із фільтра періодично збирається внизу і вивозиться, або в мішках, або в малих вантажівках.

Добре практикують збір проб вхідного насіння на станції розвантаження. Відповідний метод для збору репрезентативної проби – це встановлення маленького шнекового конвеєра діаметром 250 мм, що обертається дуже повільно, наприклад, на 1 об/хв, під евакуаційним конвеєром. Середній діаметр дозволяє збирати навіть великі частки, а повільна швидкість обертання обмежує розмір проби до приблизно 100 кг за 20 хв. Таку пробу можна аналізувати на вологість, вміст олії та, що найважливіше, кількість домішок.

Попереднє очищення насіння. Машина для попереднього очищення призначена для видалення легкого пилу, великих домішок («переробок»), таких як каміння чи сільськогосподарське лущиння. Деякі машини також оснащені для видалення дрібних домішок, таких як частки ґрунту. Важливо видаляти легкий пил, оскільки він може спричинити вибухи в силосах за теплих умов. Видалення великих домішок забезпечує безперешкодний рух насіння з силосу.

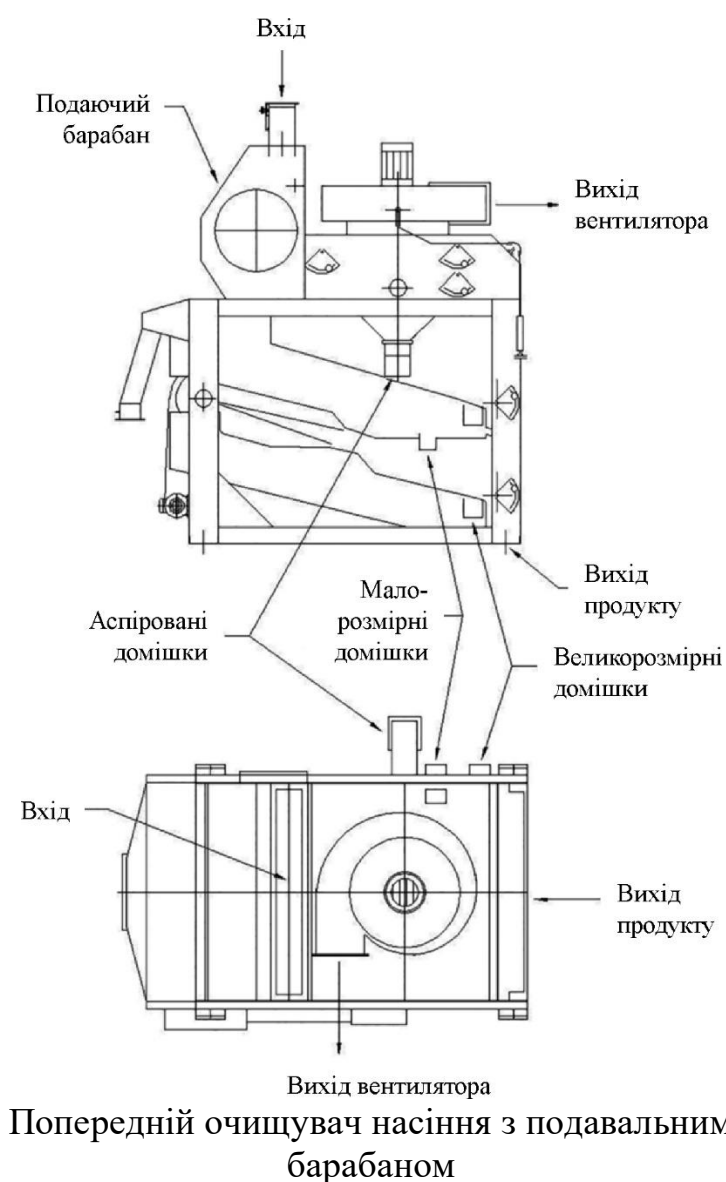
Зазвичай попередні очищувачі оснащені вхідним циклонним сепаратором для видалення дрібного пилу, після чого йдуть кілька поверхів вібраційних сит для сортування за розмірами (рис. 2.5). Деякі конструкції є типу обертового барабана (рис. 2.5), де видаляються лише «переробки», після чого здійснюється аспірація для видалення пилу. Попередні очищувачі з вібраційними ситами мають перевагу перед обертальними барабанами, оскільки вони видаляють більше домішок і допомагають зменшити навантаження на обладнання для очищення в цеху підготовки насіння. Зменшене навантаження домішок також сприяє підтримці чистоти атмосфери в цеху підготовки.

Необхідно, щоб попередні очищувачі були типу «закрита шафа», щоб не дозволяти пилу потрапляти в атмосферу.

Відокремлений «пил» збирається або в повітряному циклоні, або в повітряно-мішковому фільтрі. Циклони не можуть зібрати весь дрібний пил і зазвичай випускають деяку кількість в атмосферу. Тому для цієї роботи надається

перевага повітряно-мішковим фільтрам, хоча вони і збільшують споживання електричної енергії для вентиляторів.

Попередньо очищене насіння транспортується через елеватор до силосу для зберігання. У разі наявності кількох силосів, на верхній частині силосів встановлюється конвеєр розподілу. Конвеєр має пневматичні ворота до кожного силосу, що керуються з кабіни на землі. Насіння може бути зважене за допомогою вагових датчиків перед завантаженням у силоси.



Попередній очищувач з обертовим барабаном



Сушарка для насіння

Рисунок 2.5 – Обладнання для попередньої підготовки насіння до переробки

Насіння з високим вмістом вологи спочатку може подаватися в сушарку перед завантаженням у силос для зберігання. Або, якщо зберігання планують лише на кілька днів, навіть насіння з високою вологістю може не сушитися перед зберіганням; таке насіння може бути висушене разом із термічною обробкою в сушарках-кондиціонерах у цеху підготовки насіння. Останній процес є більш енергоефективним.

Сушіння насіння. Насіння з високим вмістом вологи слід висушувати перед тривалим зберіганням, щоб запобігти пошкодженню внаслідок дихання. Безпечна межа вологості може становити 13 % для сої та 9 % для насіння з високим вмістом олії, такого як ріпак і насіння соняшника.

Для цієї мети використовують сушарки вертикального бункерного типу. Хоча місцями застосовують партійні сушарки. Найбільш поширеними, особливо при потужностях понад 1000 т на добу, є безперервні сушарки одноразового проходу. Зазвичай операцію сушіння проводять лише вдень, тому для добової продуктивності 1000 т безперервну сушарку проєктують на приблизно 100 т на годину.

У безперервній сушарці (рис. 2.6) насіння подається норією на верхню частину апарату, після чого повільно переміщується вниз під дією сили тяжіння через сітку каналів, у які надходять гарячі гази від пальника (що працює на газі або рідкому паливі), а висушене насіння вивантажується через декілька довгих обертових клапанів у нижній частині. Швидкість роботи обертових клапанів регулюється для контролю продуктивності сушарки. Гарячі гази подаються на різних рівнях, проходять через шар насіння і виходять через решітку каналів, розташовану приблизно за метр над вхідними каналами. Вхідні та вихідні канали можуть бути розташовані паралельно або перпендикулярно один до одного. Гарячі гази подаються при температурі 80–90 °C так, щоб температура поверхні насіння не перевищувала 60 °C. Гази залишають зону сушіння при температурі близько 65 °C. Таким чином, для сушіння безпосередньо використовують менше третини тепла. Більша частина газів може рециркулюватися назад до пальника для підвищення теплової ефективності сушарки.

У нижній частині сушарки в насіння подається повітря навколишнього середовища для його охолодження до приблизно 40 °С. Загальний час перебування насіння у сушарці може становити до кількох годин.

У країнах, де газ є дорогим, як джерело тепла можуть використовувати тверде паливо. У такому випадку топкові гази не подаються безпосередньо в сушарку, оскільки вони можуть забруднити насіння. Натомість гаряче повітря отримується за допомогою теплообмінників газ–повітря. Коли використовуються топкові гази від газового пальника, частина рециркульованого повітря з вихлопу сушарки додається для підтримання температури газу в межах 90 °С.

Перед завантаженням у силоси насіння бажано протемперувати протягом 5–6 год у вертикальних бункерах. Темперування забезпечує рівномірність розподілу тепла і вологи в насінні. Правильно висушене й темпероване насіння може безпечно зберігатися протягом днів і місяців без ризику пошкодження внаслідок дихання.

Зберігання насіння у силосах. Попередньо очищене насіння зберігається у вертикальних силосах, виготовлених із гофрованих оцинкованих сталевих листів. Наразі також впроваджуються інші методи обробки, окрім оцинкування. Силоси для зберігання мають конструкцію з плоским дном, де основа виготовлена із залізобетону (рис. 2.6). Раніше поширеними були силоси, повністю побудовані із залізобетону, але нині вони використовуються переважно для силосів малого діаметра або для спеціальних (антикорозійних) застосувань.

Об'єм силосів може варіюватися від 1000 до 20 000 т насіння при діаметрі до 27 метрів. Висота силоса зазвичай трохи менша за його діаметр; для високих силосів потрібні більш міцні фундаменти. Проте, якщо площа для розміщення обмежена, можуть віддавати перевагу вищим силосам.

Коли насіння з високим вмістом вологи необхідно зберігати тривалий час, скажімо, понад місяць, силоси обладнуються системою вентиляції повітрям. Повітря подається через решітки, встановлені на дні, через підземні канали, для видалення вологи, що накопичується на поверхні насіння в процесі дихання. Якщо вологу не видаляти, можуть утворюватися грудки, що зрештою призводить

до потемніння та загнивання насіння. У великих силосах на різних висотах вбудовуються температурні датчики, підвішені під верхнім покриттям силоса і розташовані радіально, для виявлення гарячих зон – ознак накопичення вологи, оскільки дихання насіння супроводжується виділенням як вологи, так і тепла. Операція аерації автоматично запускається при виявленні гарячих зон, що дозволяє економити енергію, споживану вентиляторами.

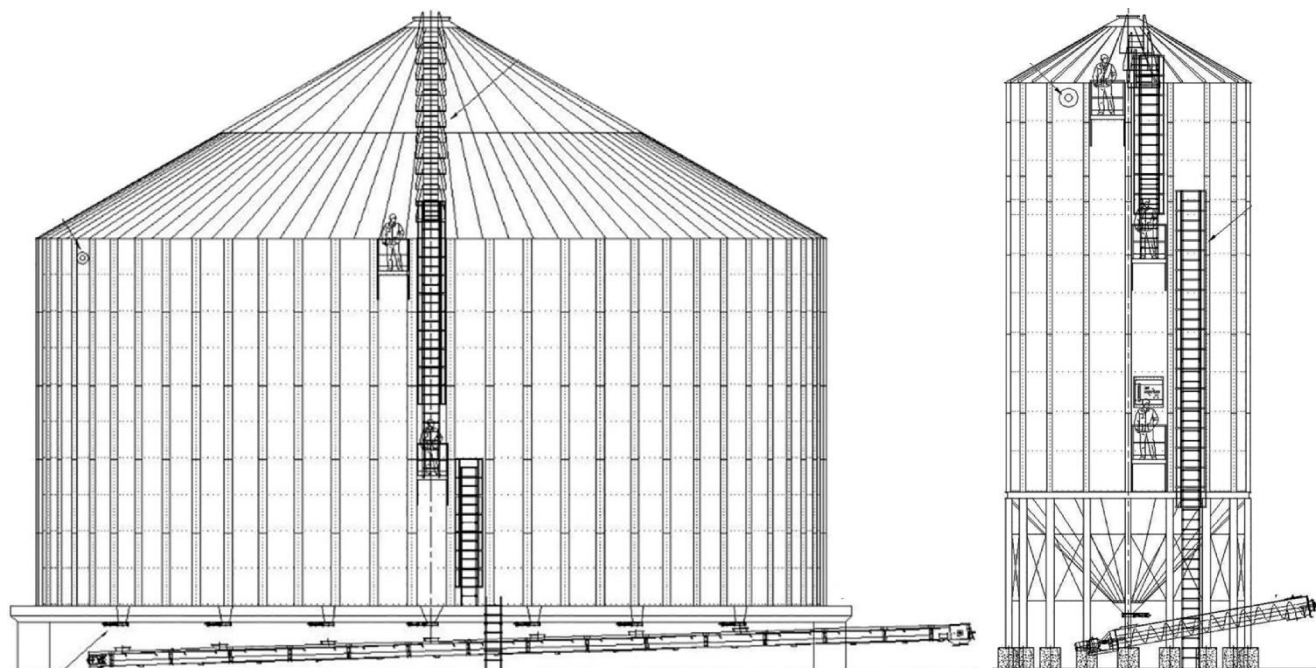


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд силосів

Кілька силосів можуть бути розташовані у прямій лінії та завантажуватися загальним верхнім конвеєром. Або вони можуть бути розташовані по колу і завантажуватися через жолоби від однієї спільної норії. У другому випадку центральна норія повинна бути значно вищою за верхню частину силосів. Проте зазвичай віддають перевагу лінійному розташуванню, оскільки всі силоси можна завантажувати та розвантажувати за допомогою єдиного конвеєра, і норію не потрібно будувати дуже високою. Верхній конвеєр підтримується конструкцією силосів, уздовж нього передбачено технічний перехід. Для кожного силоса

встановлюють розвантажувальні затвори з пневматичним керуванням, якими керують з операторської на рівні землі.

Силоси обладнані входними дверима на нижньому рівні та оглядовими вікнами на верхніх рівнях. На даху встановлюють вентиляційні отвори. По периметру похилого даху змонтовані перила для безпеки. До даху ведуть гвинтові сходи з проміжними майданчиками для відпочинку. Також передбачені доступні платформи біля кожного оглядового вікна.

Насіння вивантажується із силосів конвеєром, що проходить під усіма силосами по прямій лінії. Кілька розвантажувальних отворів на дні кожного силоса обладнані заслінками, які працюють вручну або пневматично. Зазвичай відкритим тримають тільки центральний отвір; периферійні відкривають для остаточного розвантаження силоса. Зазвичай використовують конвеєр із тяговим ланцюгом, хоча стрічкові конвеєри теж поширені. Стрічкові конвеєри мають більшу ширину, що вимагає ширших тунелів у фундаменті силоса.

Після самопливного розвантаження в силосі залишається приблизно 10–15 % насіння, що зберігали, що утворює конічну купу, з підйомом від стінки до центру силоса. У великих силосах (діаметр понад 15 м) встановлюють шнековий вивантажувач (шнековий транспортер), який допомагає вивантажити залишкове насіння. Перед початком роботи шнека відкривають периферійні затвори для збільшення самопливного розвантаження. Обертаючись, шнек транспортує залишки насіння до вивантажувальних дверей. Це усуває необхідність ручного очищення дна силоса – операції, що пов'язана з великим ризиком для безпеки.

Очищення насіння для видалення домішок, що залишилися після збирання врожаю, а також металевих забруднень, які з'являються під час навантаження, розвантаження та зберігання, є необхідною умовою для безперебійної роботи обладнання на олійному заводі. Усі машини працюють у безперервному режимі, постійно отримуючи та вивантажуючи насіння. Запас насіння в машинах є дуже малим.

Очищувачі насіння є машинами для розділення за розмірами, оснащеними кількома ярусами вібраційних сит. Кожен ярус має два сита: верхнє з більшими

отворами пропускає насіння та дрібні домішки, утримуючи великі частки, такі як каміння, соломучи гілки. Нижнє сито затримує насіння і пропускає дрібні частки ґрунту. Насіння виводиться через аспіраційний канал для видалення легких домішок, таких як лушпиння, дрібна соломучи тощо. Деякі машини оснащені повітряним циклоном на вході для попереднього видалення легких домішок (рис. 2.7).

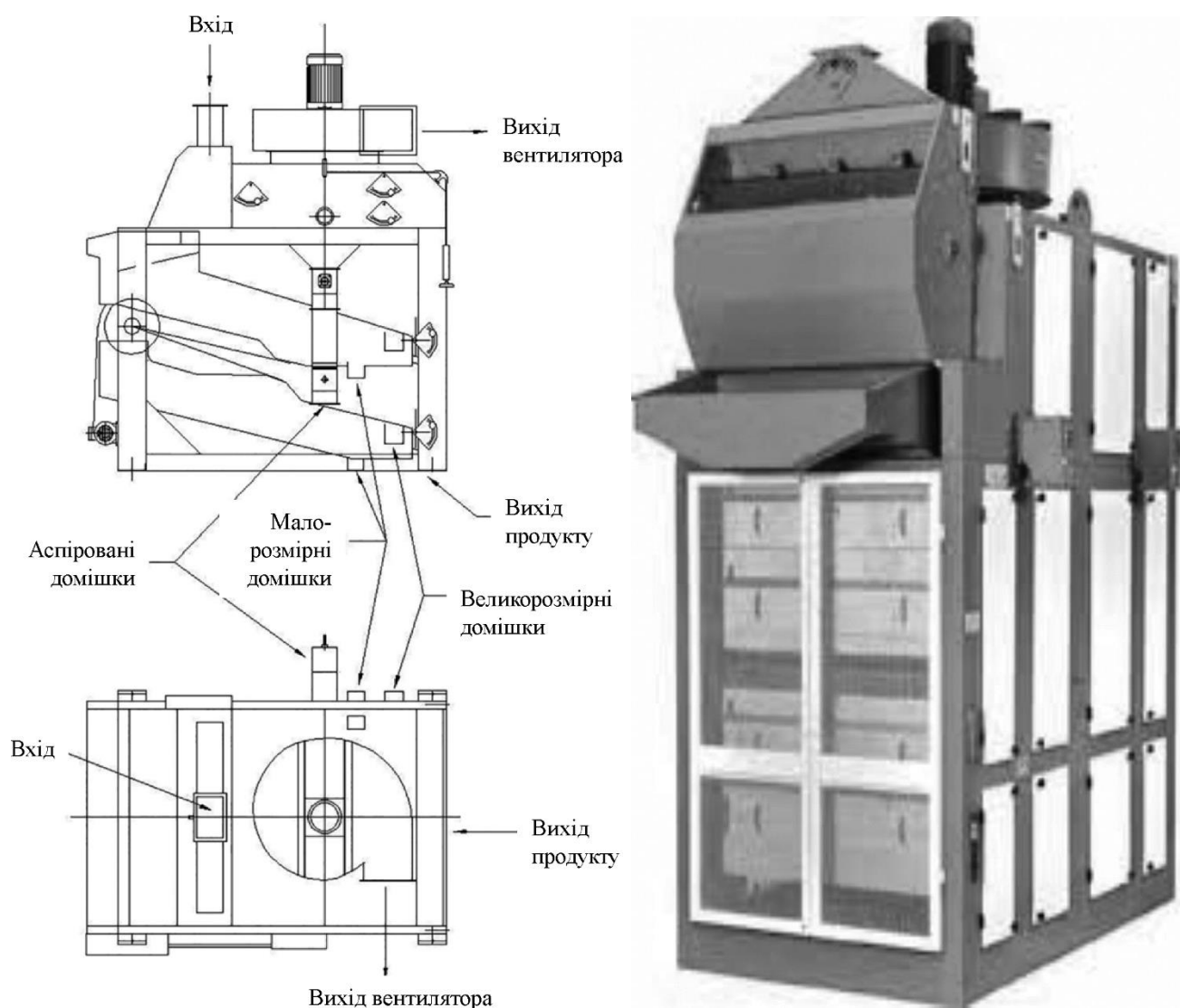


Рисунок 2.7 – Очисник насіння

Під кожним ситом встановлюють каркас із гумовими або пластиковими «стрибучими кулями», які постійно б'ються об сито, запобігаючи закупорці отворів.

Нахил ситових ярусів може регулюватися для оптимальної роботи: більший нахил збільшує продуктивність, але знижує ефективність розділення.

Деякі машини мають відкриту конструкцію сит, проте на сучасних олійних заводах віддають перевагу «закритим шафам» (рис. 2.7), щоб запобігти викиду пилу в атмосферу. Легкі домішки, всмоктані через аспіраційний канал, видаляються через повітряний циклон або мішковий фільтр, і очищене повітря випускається в атмосферу. Повітря, що виходить із циклону, може містити до 100 мг пилу на м^3 , тоді як мішкові фільтри знижують концентрацію до близько 20 $\text{мг}/\text{м}^3$, тому їх частіше використовують.

Каркаси ситових ярусів (зазвичай дерев'яні) потребують регулярного технічного обслуговування, тому доступ до них має бути зручним з боку подачі. У макетуванні виробничих площ передбачають достатньо місця для зняття сит. Новітні машини іноді обладнані алюмінієвими рамами, які вимагають меншого обслуговування.

Після розділення за розмірами наступним етапом очищення є *магнітне видалення домішок*. Існує два типи магнітів: постійні та електромагніти. Постійні магнітні смуги встановлюють у випускних жолобах елеваторів або на входах важких машин, таких як дробарки, і періодично очищають вручну для видалення накопиченого заліза.

Ротаційні барабанні магніти, зазвичай оснащені електромагнітами, забезпечують безперервне видалення заліза без потреби у ручному очищенні (рис. 2.8). Вони є невід'ємною частиною сучасних олійних заводів.

Для середньорозмірного насіння, такого як соя та соняшник, потрібен додатковий етап очищення – *видалення мінеральних домішок (каменів)*. Це необхідно для видалення каміння та грудок землі, схожих за розміром на насіння. Якщо їх не видалити, грудки можуть розкришитися на пил у наступних процесах, забруднюючи повітря в цеху, а камені можуть пошкодити обладнання для підготовки насіння.



Рисунок 2.8 – Сепаратор для насіння олійних культур

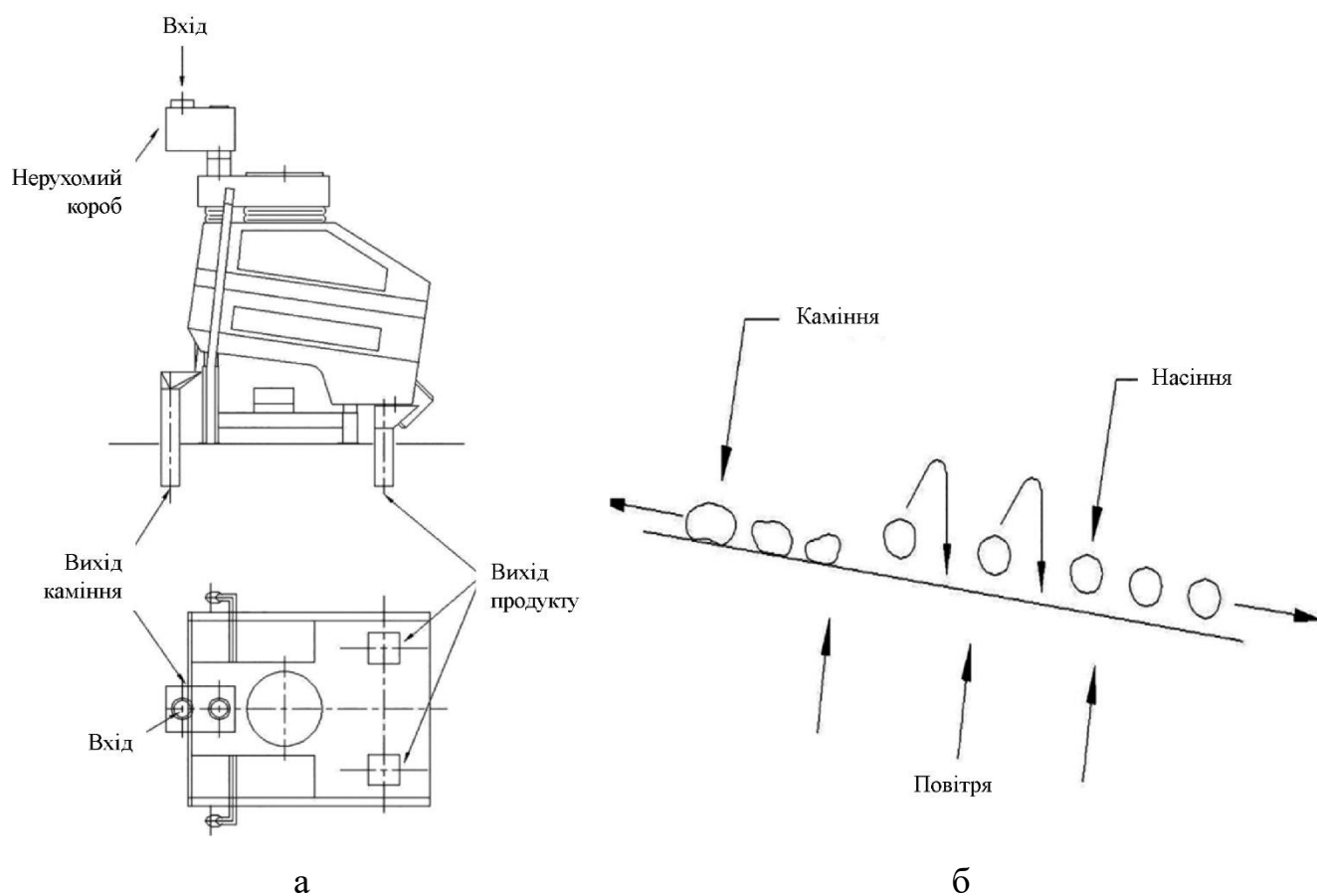


Рисунок 2.9 – Схема каменевідбірника (а) і рух каміння та насіння на решітці каменевідбірника (б)

У машині для видалення мінеральних домішок насіння подається на нахилене сито, через яке продувається повітря (рис. 2.9, а). Сито вібрує вперед-

назад, притягуючи важкі частинки догори, тоді як легше насіння завдяки потоку повітря піднімається над ситом і спускається вниз під дією сили тяжіння (рис. 2.9, б). Таким чином камені та грудки землі видаляються на початку, а чисте насіння виходить із протилежного кінця.

Вихідне повітря з каменевідбірників зазвичай містить мало пилу, тому застосування лише повітряних циклонів є достатнім заходом безпеки, без необхідності встановлення мішкових фільтрів.

2.3 Видобуток олії з використанням шнекових пресів

Основна частина шнекового преса складається з міцного кожуха та шнекового валу, що обертається всередині кожуха. Кожух утримується між міцними плоскими панелями (рис. 2.10). Більшість сучасних пресів мають два кожуха, при цьому кожух на подаючому кінці має трохи більший внутрішній діаметр, ніж другий. Однак деякі преса також виготовляють з одним кожухом. Існує або невеликий подаючий кожух, що відокремлений від основного кожуха, або подача насіння може здійснюватися безпосередньо в перший кожух. Макуха виводиться через звужену кільцеву щілину на іншому кінці, у невелику камеру для макухи.

Конфігурація шнеків та окремих лопаток така, що простір між шнеком та стрижнями кожуха поступово звужується від подаючого кінця до вихідного кінця. Коли підготовлена сировина постійно подається до преса через подаючий отвір і проштовхується в звужуваний простір, шнековий вал створює високий тиск на матеріал, змушуючи олію виділятися. Вивільнена олія виштовхується через тонкі щілини між стрижнями кожуха. Частково знежирені тверді частинки виходять через регульований кільцевий отвір у вигляді плоского моноліту.

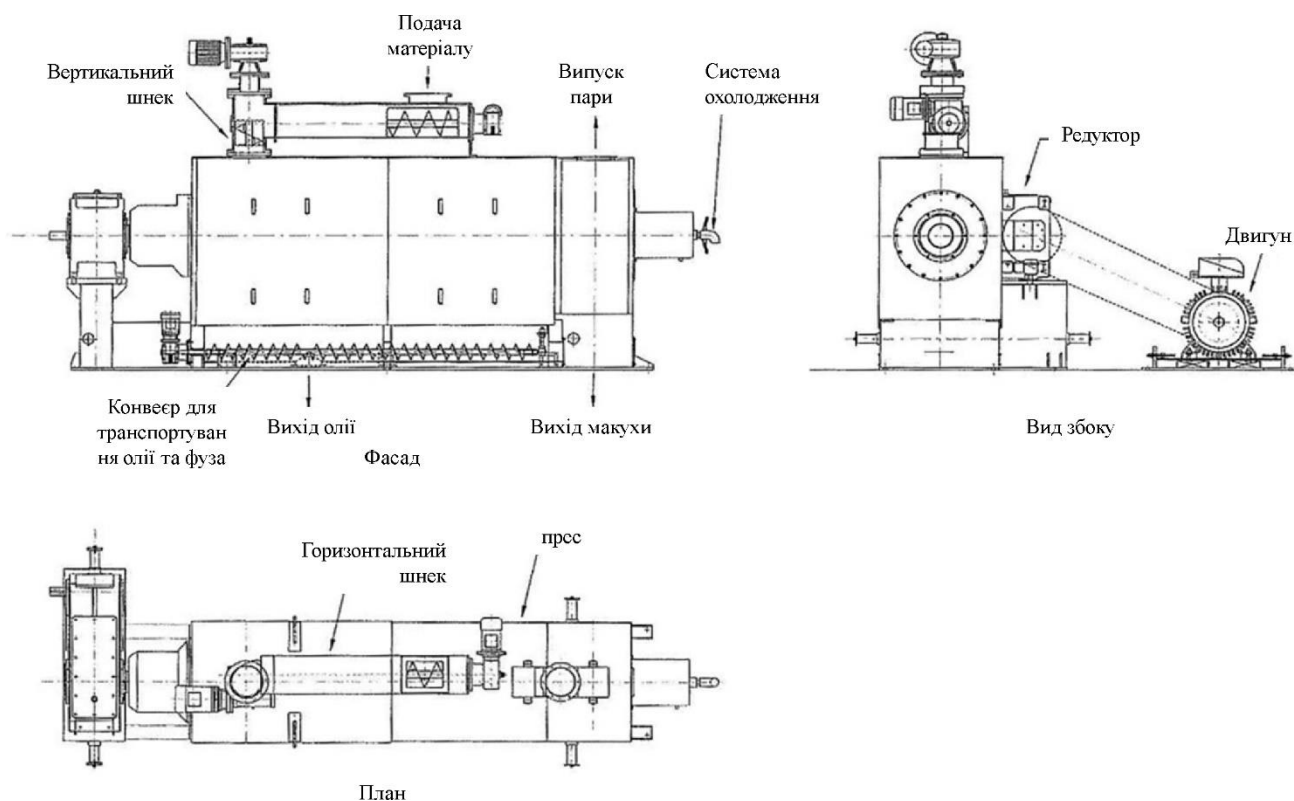


Рисунок 2.10 – Пресовий вузол

Кільцевий отвір для виведення пресової макухи складається з фіксованого зовнішнього кільця, яке називається «жорстким кільцем», і рухомого конуса. Коли конус рухається всередину і назовні жорсткого кільця, кільцевий простір змінюється, а разом з цим змінюється і товщина макухи. Така регульована жорстка система дозволяє налаштувати остаточний тиск на масу, щоб забезпечити бажаний рівень залишкової олії. Деякі преси розроблені з «фіксованим» жорстким кільцем.

Більшість пресів оснащені подаючою системою, що складається з (а) горизонтального шнека з регульованою швидкістю, і (б) вертикального шнека, який подає підготовлену сировину в пресовий кожух. Для матеріалів, що легко течуть, вертикальний шнек може не бути необхідним, і його можна зняти, щоб заощадити енергію двигуна. У деяких конструкціях вертикальний шнек використовують для примусового подавання разом із початковим стисненням для видалення повітря з маси насіння. Корпус вертикального шнека кріпиться до

подаючої камери, а корпус горизонтального шнека зазвичай кріпиться до фланця входу вертикального шнека. Оскільки вертикальний шнек є стискаючим шнеком, його конструкція порівняно важка у порівнянні з горизонтальним шнеком, який виготовляється як добре оброблений шнековий конвеєр.

Панелі, які утримують кожухи, монтуються на основному коробі, який може вміщувати конусну тару для збору олії всередині. Шнек, розташований внизу тари, виводить олію та «підшови» до конвеєра для подальшого транспортування. Основний короб розширюється для підтримки основного редуктора приводу, який зазвичай розташовується на подаючому кінці.

Кожен розділ преса, що складається з кожуха та підтримуючих панелей, називається камерою. Отже, прес зазвичай складається з подаючої камери, основної камери, що складається з основного кожуха та нижнього шнека, та камери для макухи. Як зазначалося вище, в деяких конструкціях, з одним кожухом, подаюча і основна секції преса можуть утворювати одну спільну камеру.

Кожухи преса. У деяких конструкціях пресів передбачено повні кожухи, які закривають три сторони над основою. У більшості інших конструкцій є вертикальні кожухи з обох боків, а верх накритий товстими плитами, які або прикручені болтами, або приварені до верхньої рами, що з'єднує корпусні плити. У деяких варіантах вертикальні кожухи розділені на дві частини: верхню частину прикручено до корпусу, а нижню – навішено на основу для зручності огляду стоку олії з кліток. У верхній частині передбачені оглядові вікна для перевірки засмічення кліток. Нижні кожухи зазвичай мають нахилені пластини, закріплені всередині біля основи, щоб запобігти витіканню олії. Краї кожухів можуть бути ущільнені гумовими прокладками для запобігання виходу олійного туману з пресувальної камери. Кожухи слід виготовляти з нержавіючої сталі для запобігання корозії, викликаній конденсацією вологи та корозійних газів.

У великих пресах пресувальні камери можуть бути вентиляльованими для запобігання утворенню конденсату. Оскільки парова суміш, яка складається з повітря, водяної пари та олійного туману, виводиться назовні, це може

призводити до забруднення повітря навколо олійниці. Тому доцільно встановити в повітровід бафльну систему та демістерну вставку. Олія, зібрана в бафльному вузлі, має невеликий об'єм – близько 1–4 кг на 100 т подрібненого насіння – і може бути змішана з сирою олією після екстракції розчинником або використана для виробництва мила. Демістерну вставку потрібно регулярно очищати, щоб уникнути надмірного падіння тиску у паропроводі.

Гвинтовий вал. Це найважливіша частина шнекового преса, яка значною мірою визначає його ефективність подрібнення. Він складається з базового вала, на якому встановлюються окремі сегменти (рис. 2.11). Сегменти бувають різних типів – із витками, без витків, з прямим або конічним буртом, розбивальні диски та конусні. Усі сегменти фіксуються на валу за допомогою шпонки по всій довжині. Щоб запобігти потраплянню гарячої маси між сусідніми сегментами і між сегментами та валом, у спеціальні пази на стиках монтують металеві кільця. Металеві кільця замінили гумові ущільнення типу O-ring, які з часом тверділи.

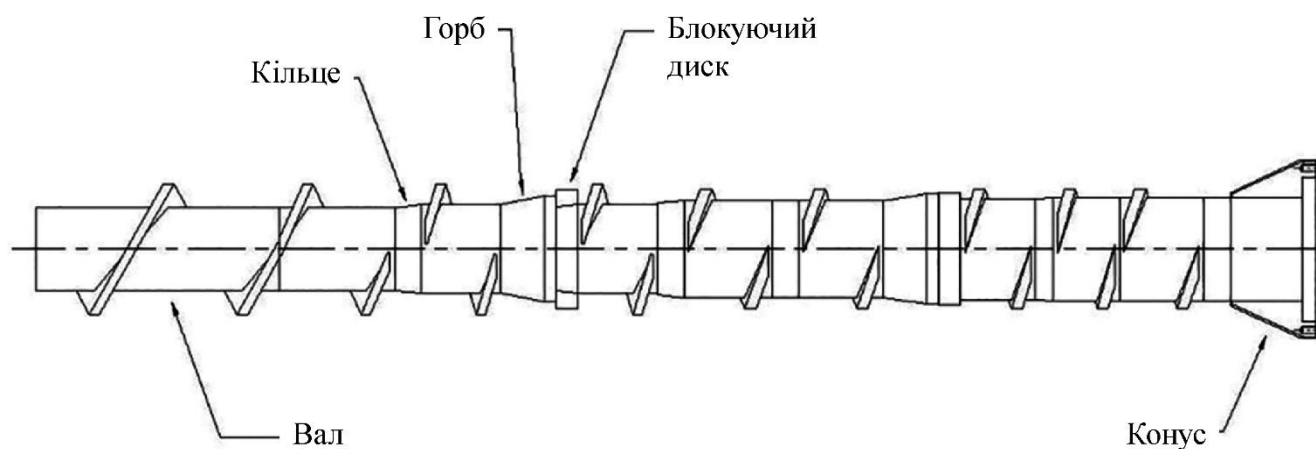


Рисунок 2.11 – Вузол гвинтового вала

Сегменти з витками можуть служити лише для транспортування маси (наприклад, подаючий гвинт) або для її стиснення – так звані «напірні гвинти» (рис. 2.12). У більшості конструкцій між двома тисковими гвинтами встановлюється коротка вставка або «комірець» (сегмент без витків). Наявність комірця дозволяє встановити на цьому місці ніж на ножовій балці для різання й

повторного перемішування маси. Комірці можуть бути постійного або конічного діаметра – для відповідності бурту наступного сегмента.

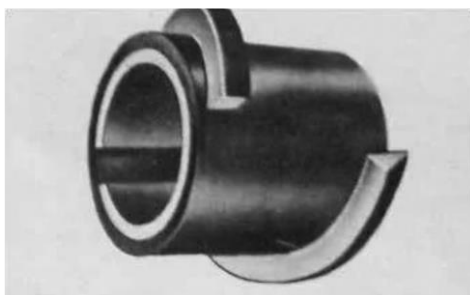


Рисунок 2.12 – Напірний гвинт

У великих пресах існує кілька зон стиснення. Наприкінці кожної такої зони встановлюється конічний комірець або «горб», який виконує функцію проміжного «нерухомого конуса» (рис. 2.13) і створює основне стиснення. Після такого стиснення бажано розрізати масу й добре перемішати її – для цього одразу за горбом встановлюється спеціальний розбивальний диск.

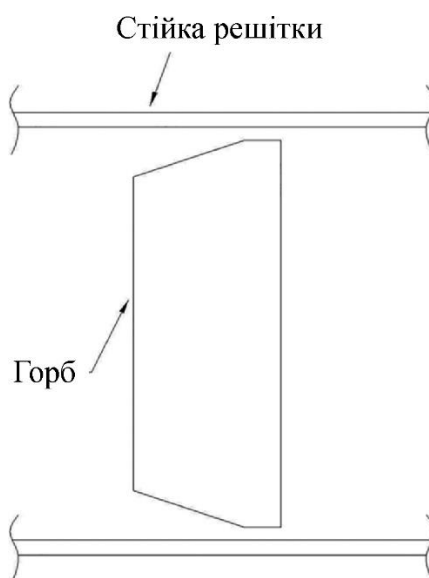


Рисунок 2.13 – Нерухомий конус

У старих конструкціях пресів використовували «зворотні гвинти» для повного розмелювання сировини. Нині, коли насіння піддається ретельній попередній підготовці й структура вже порушена, потреба в зворотних гвинтах відпала. Такі гвинти спричиняють раптові піки тиску, що призводить до інтенсивного зношування витків та решіток клітки. Раптові піки також негативно впливають на продуктивність преса.

У межах клітки зовнішній діаметр витків усіх гвинтів однаковий і наближений до внутрішнього діаметра кільця решіток. Зазор між витками та решітками має бути мінімальним – зазвичай близько 1–1,5 мм. У процесі зношування витків і решіток зазор збільшується, що знижує тиск, який створює гвинтовий вал. Якщо зазор перевищує 6–7 мм, це негативно впливає на роботу преса і є сигналом до заміни решіток і/або сегментів.

Верхівки та робоча поверхня витків зміцнені твердим шаром, зазвичай глибиною 4–5 мм. Основна властивість матеріалу наплавки – висока зносостійкість, а не лише твердість. Перевагу віддають високолегованим сталям із вмістом хрому або хрому та нікелю. Нікель дорожчий, але забезпечує жаростійкість сплаву, що корисно при повному пресуванні.

Основний вал виготовляється з високоміцної сталі для забезпечення високої міцності на зсув. Спеціальна термічна обробка покращує цю характеристику і дозволяє використовувати вали меншого діаметра для заданого навантаження. Менший діаметр вала дає більше можливостей для оптимізації конструкції черв'яків з метою збільшення продуктивності преса.

Охолодження шнека. У більшості сучасних конструкцій пресів передбачено охолодження шнека (рис. 2.14). Це дозволяє підтримувати помірну температуру маси олійних культур і макухи на виході, а також запобігає їхньому підгорянню внаслідок перегрівання. Крім того, така система охолодження частково сприяє додатковому вилученню олії в останніх сегментах кожуха. Вхід і вихід охолоджувальної води здійснюється через подвійне обертове з'єднання.

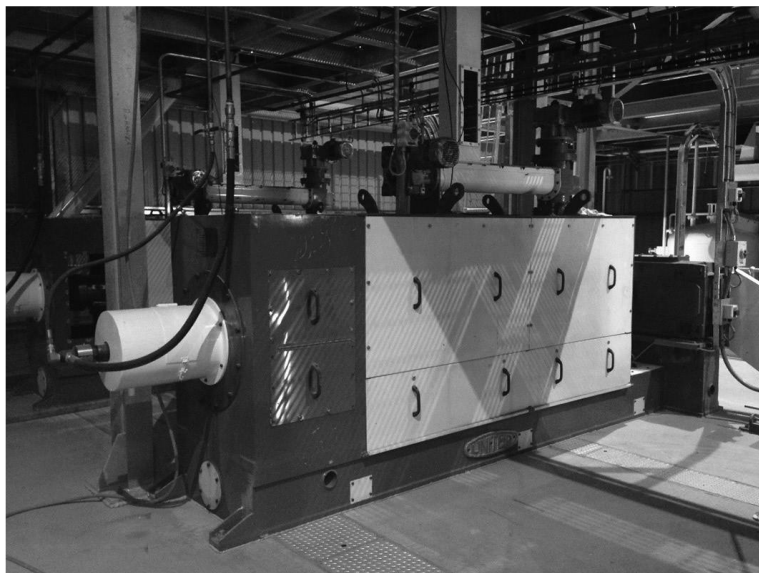


Рисунок 2.14 – Охолодження шнека

У деяких конструкціях передбачено навіть водяне охолодження кожухів. Стверджують, що така конструкція дозволяє зменшити температуру пресованої олії та зберегти її якість.

Привід і підшипники. Вал шнека продовжується з обох боків кожуха. З боку виходу він виходить за межі камери макухи та підтримується радіальним підшипником, який, у свою чергу, закріплений до корпусної плити. У деяких конструкціях використовують просту втулкову опору для уникнення проблем з обслуговуванням через потрапляння частинок макухи. Якщо встановлено радіальний кулькопідшипник, його необхідно захищати якісним маслоснімним сальником.

З боку подачі вал проходить через радіальний і упорний підшипники та з'єднується з редуктором через муфту. У деяких моделях вал проходить через редуктор із порожнистим валом. Упорний підшипник має бути належним чином розрахований на сприйняття повного осьового навантаження, спричиненого стисканням, а також на можливі ударні навантаження. З цією метою зазвичай встановлюється пружина великої потужності.

Редуктор є важливою та дорогою складовою частиною преса. У сучасних моделях зазвичай використовуються триступеневі редуктори з паралельними

косозубими шестернями. Охолодження редуктора може бути повітряним або водяним. Оскільки більшість пресів попереднього віджиму працюють на швидкості валу 30–40 об/хв, передавальне відношення редуктора зазвичай становить близько 30:1. Додаткове зниження швидкості можна досягти шляхом зміни шківів або за допомогою частотного перетворювача. Преси повного віджиму зазвичай працюють на 18–25 об/хв, тому редуктори повинні мати ще більше передавальне відношення, або ж швидкість знижують додатковими шківів.

Деякі виробники пропонують пряме з'єднання двигуна з редуктором, однак більшість використовує шківів. Шківів не лише забезпечують гнучкість і захист двигуна, але й дозволяють регулювати швидкість приводу, що важливо для застосування преса як для першого, так і для другого віджиму або для обробки різних видів насіння олійних культур.

У деяких конструкціях передбачена наявність «чергового двигуна» – це малопотужний редукторний двигун, підключений до протилежного від приводу кінця вала редуктора через муфту. Він дозволяє повільно обертати прес на швидкості 2–3 об/хв у разі зупинки основного двигуна через зникнення електроенергії. Це необхідно, щоб спорожнити прес від гарячої маси насіння, яка може затверднути упродовж 10 хв. У таких випадках черговий двигун вмикається через резервне живлення (наприклад, дизель-генератор) для повільного вивантаження маси.

Останнім часом частотні перетворювачі стали більш доступними та широко використовуються. Вони забезпечують низку переваг:

1. Дозволяють знижувати швидкість без зміни шківів.
2. Виключають потребу в черговому двигуні, оскільки прес можна перезапустити на малій швидкості й струмі.
3. Дають змогу запускати прес із низької швидкості, що зменшує пусковий струм.
4. Дозволяють варіювати швидкість під час роботи для тонкого регулювання вмісту олії в макусі.

Висновки за розділом

1. Вибір технології виробництва лляної олії залежить від цілей виробництва. Гаряче пресування забезпечує високий вихід олії та покращує смакові якості, але може зменшити кількість корисних компонентів. Холодне пресування зберігає всі поживні властивості, але має менший вихід олії. Екстракція дає високу кількість олії, але значно знижує її корисні властивості. Кожен метод має свої переваги та недоліки, і вибір залежить від вимог до готової продукції.

2. Попередня підготовка насіння включає кілька етапів: розвантаження, очищення, сушіння та зберігання. Насіння може надходити в контейнерах або мішках, після чого вивантажується в бункери для транспортування до очищувачів. Очищення включає видалення пилу, великих та дрібних домішок, що допомагає запобігти проблемам під час подальшої обробки. Попередньо очищене насіння транспортується до силосів для зберігання. Насіння з високим вмістом вологи може бути висушене в спеціальних сушарках. Для забезпечення безпеки та якості зберігання насіння в силосах, застосовують вентиляційні системи для видалення зайвої вологи. Це дозволяє зберігати насіння протягом тривалого часу без ризику його псування.

3. Шнекові преса є важливими агрегатами в процесі видобутку олії з насіння олійних культур. Їхня конструкція, що включає міцні кожухи, шнекові вали та регульовані кільцеві отвори для пресування, дозволяє ефективно виділяти олію, забезпечуючи мінімальні залишкові кількості олії у макусі. Додаткові елементи, такі як охолодження шнека та редукторні системи, підвищують ефективність роботи преса та дозволяють оптимізувати процес, запобігаючи перегріванню та покращуючи якість олії.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Масовий баланс механічного процесу видобутку олії

Важливо розуміти розрахунки масового балансу навколо процесів пресування, не лише для перевірки можливих втрат матеріалів, якщо такі є, на олійному заводі, а й для обчислення енергоспоживання на різних етапах пресування, оптимізації виходу олії, а також для правильного вибору обладнання на наступних етапах виробництва. Масовий баланс є базовим інструментом для оцінювання ефективності всього технологічного процесу, дозволяє ідентифікувати критичні втрати, спрогнозувати доцільність додаткових операцій, таких як повторне пресування або екстракція, а також забезпечити стабільність продукції в умовах змін сировинного складу.

Нижче наведено типові розрахунки для насіння льону олійного. Початкові дані базуються на середніх показниках вмісту олії та вологи у сировині, які можуть змінюватися залежно від сорту, умов зберігання та попередньої підготовки насіння [19–20].

Основні дані: 1000 кг насіння льону, що містить 40% олії, 7% вологи.

На попередньому пресуванні, якщо макуха містить 18% олії і 6% вологи, то:

- маса макухи: $1000 \cdot (100\% - 40\% - 7\%) / (100\% - 18\% - 6\%) = 697,37$ кг;
- маса олії в макусі: $697,37 \cdot 18\% / 100\% = 125,53$ кг.

Загальний баланс: $697,37 + 274,47 = 971,84$ кг.

Втрати вологи складають: $1000 - 971,84 = 28,16$ кг.

На другому пресуванні, якщо макуха має 8% олії і 6% вологи, то:

- маса макухи: $697,37 \cdot (100\% - 18\% - 6\%) / (100\% - 8\% - 6\%) = 616,28$ кг
- маса олії в макусі: $616,28 \cdot 8\% / 100\% = 49,30$ кг.

Загальний баланс: макуха + олія (перше пресування) + олія (друге пресування) = $616,28 + 274,47 + 76,23 = 966,98$ кг.

Втрати вологи складають: $1000 - 966,98 = 33,02$ кг.

Перше пресування вилучає 274,47 кг, або 68,6% олії від загальної кількості в насінні. Друге пресування додає ще 76,23 кг, що становить 19,1%. У сумі дворазове пресування дозволяє видобути 87,7% олії. Залишок у макусі (49,30 кг) може бути вилучений за допомогою екстракції розчинниками, що дозволяє досягти загального виходу понад 95–98%, якщо процес організовано оптимально. Загальні втрати маси (волога, пил, залишки у пресі) становлять до 3–3,5%, що є допустимим показником у промислових умовах.

Ці розрахунки є не лише кількісним підтвердженням ефективності технології, а й критично важливими для проєктування виробничих ліній, економічного обґрунтування інвестицій у нове обладнання, енергетичного аналізу процесу та екологічного моніторингу. Правильне планування кожного етапу дає змогу зменшити експлуатаційні витрати, уникнути перевитрат енергії та підвищити конкурентоспроможність готової продукції.

3.2 Розрахунок витрат електроенергії

Для цеху з виробництва лляної олії необхідні такі комунальні ресурси, як електроенергія, вода, пара та стиснене повітря. Електроенергія є основним джерелом енергопостачання і значною мірою впливає на собівартість виробничих операцій. На другому місці за питомими витратами перебуває пара, яка використовується здебільшого для термічної обробки насіння та підігріву обладнання. Вода необхідна не лише для виробництва пари, а й для охолодження, мийки обладнання й підтримання санітарних умов. Стиснене повітря виробляється безпосередньо на підприємстві шляхом стиснення атмосферного повітря з використанням електроенергії, і використовується для пневмосистем, автоматичних клапанів та транспортних механізмів [21–23].

Потреба в електроенергії для окремих машин і агрегатів розглядається в розділі 2. Сумуючи енергоспоживання окремих операцій, можна визначити загальну потребу електроенергії для роботи всього підприємства. Слід також

враховувати енергоспоживання допоміжного обладнання: транспортерів, шнеків, вентиляторів, насосів, систем управління тощо.

Специфічна енергетична потреба, тобто кількість електроенергії, що споживається на насіння (в кВт·год/т), залежить від кількох факторів: типу олійної культури, технології переробки (попереднє пресування чи повне пресування), глибини механічного віджиму, а також від потужності заводу. Загалом, із зростанням потужності підприємства питоме енергоспоживання знижується завдяки ефекту масштабу.

Наприклад, для заводу з попереднього пресування ріпаку загальна енергетична потреба, включаючи операції з розвантаження, попереднього очищення, підготовки та зберігання в силосах, становить:

- приблизно 30 кВт·год/т для підприємства потужністю 300 т/добу;
- знижується до 20–22 кВт·год/т для заводу потужністю 1000 т/добу.

Обробка насіння льону є енергомісткішою, оскільки передбачає додаткову операцію з часткового видалення оболонок (лушпиння), а також вимагає підвищеного зусилля при пресуванні через залишкову жорстку фракцію. Пресування також ускладнюється високим вмістом олії у насінні, через що зазвичай застосовують двоступінчасте пресування. Через це споживання електроенергії істотно зростає:

- 45 кВт·год/т для заводу потужністю 300 т/добу;
- 35 кВт·год/т для заводу потужністю 1000 т/добу.

Для невеликих установок із продуктивністю 10 т/год (240 т/добу), які працюють за технологією двоступінчастого пресування з доведенням вмісту залишкової олії у макусі до 8%, загальна енергетична потреба може досягати 65 кВт·год/т.

Через високе загальне споживання електроенергії в цеху з виробництва лляної олії, витрати на електроенергію зазвичай у 2–3 рази перевищують витрати на пару. Це відрізняється від вартісної структури на екстракційних заводах із використанням розчинників, де основна частка витрат припадає саме на пару, необхідну для випаровування та регенерації розчинників.

Окрему увагу слід приділити якості електропостачання, яка є критично важливою для стабільної та безпечної роботи обладнання. Коливання частоти змінного струму можуть впливати на швидкість обертання двигунів, порушувати синхронізацію та знижувати продуктивність лінії. Зниження чи стрибки напруги можуть призводити до перегріву електродвигунів, пошкодження електронних систем керування та зменшення ресурсу обладнання в цілому. Тому доцільно передбачити використання стабілізаторів напруги, частотних перетворювачів і систем резервного живлення для критично важливих ділянок.

3.3 Розрахунок потреби в парі

Потребу в парі легко розрахувати, виходячи з умов попереднього нагріву та варіння. Розглянемо знову приклад пресування ріпаку обсягом 500 т/добу.

Основні дані: 1000 кг насіння льону при температурі 20 °С, вологість 7%.

Умови процесу: попереднє нагрівання до 50 °С, варка до 90 °С, зменшення вологості до 5%.

Таким чином, початкова вологість складає 70 кг; кінцева вологість розраховується за матеріальним балансом і становить 49 кг. Зменшення вологості – 21 кг. Це значення зручно можна виразити як [25–26]:

Зменшення вологості (APR) = кінцева вологість % · APR / 100 % · початкова маса.

Тепер розрахуємо теплове навантаження, необхідне для підвищення температури та випаровування води. Наразі ми не будемо враховувати сушіння гарячим повітрям і припустимо, що вся енергія передається через пар, що нагріває масу.

$Q = \text{початкова маса} \cdot \text{сп. тепло} \cdot \text{підвищення температури} + \text{початкова маса} \cdot$

$\text{APR} \cdot \text{кінцева вологість \%} \cdot \text{APR} / 100 \% \cdot \text{латентне тепловипаровування.}$

$1000 \cdot 0.45 \cdot (90 - 20) + 1\,000 \cdot 2.5 \cdot (5/100) \cdot 540 = 31\,500 + 11\,340 = 42\,840 \text{ ккал.}$

При використанні насиченого пару при 3 Бар, латентне тепло складає 510 ккал/кг. Для врахування втрат деякої кількості пари з парових трапів, візьмемо корисне тепло на рівні 500 ккал/кг. Отже, потреба в парі $= Q / 500 = 86 \text{ кг.}$

Необхідно додати 5% на втрати тепла через ізоляцію тощо.

Отже, необхідний пар складатиме 90 кг/т.

Коли для зменшення вологості використовується тепле повітря, кількість повітря та його температура розраховуються за допомогою психрометричної діаграми повітря-вода. Теплова потреба для нагріву повітря також визначається з розрахунку. Тоді навантаження на нагрів через двостороннє дно або жакет котла буде тільки для підвищення температури [27].

У випадку повного пресування температура варіння повинна бути вищою, а також зменшення вологості, оскільки цільова вологість є нижчою. Тому споживання пари може досягати 125 кг/т.

Якщо олія сушиться, до вищенаведеного значення потрібно додати пару для нагріву олії з майже 70 °С до 95 °С, а також пару для вакуумного екстрактора (якщо використовується).

Якість пари, що використовується для нагріву, має критичне значення. По-перше, пара, що виробляється котлом, повинна бути сухою, з коефіцієнтом сухості понад 98%. Волога накопичується під час транспортування пари від котельні до олійниці. Її необхідно видаляти за допомогою вологовідокремлювача, встановленого на вході в головний паровий колектор олійниці. Вологовідокремлювачі бувають різних типів: найпростіший – клапанний, потім – вертикальний роздільник і, нарешті, циклонний відокремлювач. Для високого вмісту вологи може бути необхідним циклонний відокремлювач, хоча це спричиняє більший перепад тиску. Зібрану конденсацію у відокремлювачі слід видаляти за допомогою термодинамічного парового трапа, який швидко відводить конденсат, навіть за рахунок деякої втрати пари.

Зазначимо деякі моменти щодо роботи котла, оскільки це впливає на якість пари. Котел повинен працювати під тиском, близьким до номінального. Таким чином, якщо котел розрахований на тиск 10,5 Бар, і навіть якщо нагрівальна пара в олійниці має бути при 3 Бар, котел повинен працювати максимально близько до номінального тиску, скажімо, 8,5–9,5 Бар, а не при нижчому тиску. Це так, тому що нижчий тиск пари в паровому барабані котла означає більший об'єм пари, що

збільшує швидкість пари, яка виходить із сопла барабана. Пара, що викидається з більшою швидкістю, неминуче переносить вологу з барабана, що знижує коефіцієнт сухості. Іншим важливим фактором є вміст загальних розчинених твердих речовин у воді котла. Вміст загальних розчинених твердих речовин у воді котла вище 2 500–3 000 ppm призводить до піноутворення в паровому барабані, що знову ж таки призводить до перенесення води разом з паром. Це є ще більш проблемним, оскільки солі в піні потім осідають в трубопроводах та на поверхнях нагріву.

Основні елементи споживання енергії в котельні – це вентилятори FD та ID та насос подачі води. Загальне споживання енергії в котельному блоці може скласти близько 1 кВт·год на т обробленого насіння для потреб олійниці.

3.4 Розрахунок потреби у воді

Вода необхідна для наступних функцій [28]:

1. Охолоджувальна вода, зокрема:

- охолодження валу преса;
- охолодження пресувальної камери;
- охолодження олії;
- охолодження конденсатора в секції сушіння олії;

2. Вода для виробництва пари;

3. Вода для миття підлоги.

Жорсткість охолоджувальної води в циркуляції повинна підтримуватись нижче 100 ppm, щоб запобігти засміченню водяних каналів. Поповнювальна вода для охолоджувальної вежі повинна бути м'якою, з жорсткістю нижче 5 ppm.

Охолоджувальна вежа може бути типу примусової вентиляції або природної вентиляції. У першому випадку вежа оснащена вентилятором типу ID, у другому – вентилятор відсутній. Вежі примусової вентиляції мають компактну конструкцію і віддають перевагу безвентиляторним типам завдяки їхній ефективності, а саме, досягненню невеликого «підходу» до температури вологого

термометра (різниця між температурою вихідної води та температурою вологого термометра повітря). Серед веж без вентиляторів останнім часом з'явилися «туманні» вежі, де вода розпилюється у вигляді дрібного туману. Завдяки кращому контакту з повітрям під час підйому та спаду ці вежі можуть бути спроектовані для низького «підходу».

Вода для виробництва пари повинна бути м'якою та демінералізованою, за допомогою установки «DM» або обробки зворотним осмосом (RO) з ТДС менше 5 ppm.

Вода для миття підлоги також може бути м'якою, щоб допомогти ефективно очищати жирні поверхні з використанням мила.

Потреба у свіжій воді для олійниці з обробки льону потужністю 300 т/добу не повинна перевищувати 40 кл на день. Таким чином, олійниці не є великими споживачами води, і вартість води завжди складає дуже малу частину загальних витрат на комунальні послуги. Однак для регіонів, де є дефіцит води, використання води слід ретельно контролювати, і потрібно докладати зусиль для мінімізації витрат.

3.5 Розрахунок потреби у стисненому повітрі

Стиснуте повітря необхідне для роботи пневматичних клапанів, пневматичних циліндрів, що використовуються в засувках, повітряних вібробуджувачах тощо, а також для роботи фільтрів. Тиск, необхідний для цих пристроїв, зазвичай становить 3–4 Бар. Генерація на компресорі зазвичай здійснюється при тиску 7–8 Бар, щоб забезпечити перепади тиску в трубопроводах та арматурі. Компресори можуть бути або маслозмащуваними (поршневі), або безмасловими (гвинтові компресори). Для поршневих компресорів необхідно встановлювати масляні фільтри в лінії. Сушарка розташовується після компресора для того, щоб зробити повітря сухим. Для чутливих пристроїв сухість повітря повинна бути дуже низькою (точка роси –20

°C). Компресор і сушарка можуть бути встановлені в акустичному кожусі для мінімізації рівня шуму до менше 70 дБ.

Частина потреби в повітрі може бути непередбачуваною, наприклад, для автоматичних клапанів вмикання/вимкнення. Щоб запобігти великим коливанням тиску при непередбачуваному споживанні повітря, слід встановити буфер. Ця посудина називається «резервуар», який зберігає стиснене повітря, близько до місця споживання.

Основне споживання стисненого повітря в олійниці йде на операцію фільтрації. Потреба може досягати $0,5 \text{ м}^3/\text{кг}$ фільтрувального осаду. Таким чином, для фільтра площею 60 м^2 (необхідного для пресування льону потужністю 800 т/добу), з товщиною осаду, скажімо, 15 мм , кількість осаду може скласти майже 900 кг ; отже, потреба в стисненому повітрі становитиме майже 450 м^3 . Ця потреба повинна бути задоволена за короткий час, скажімо, 60 хв . Тому компресор повинен виробляти стиснене повітря з потужністю $450 \text{ м}^3/\text{год}$. Гвинтовий компресор такої потужності вимагатиме приводного двигуна потужністю 45 кВт . Загальне споживання може бути лише одною третьою частиною, оскільки фільтрація потрібна тільки один раз за цикл фільтрації. Таким чином, внесок компресора в споживання енергії олійниці може становити близько $0,5\text{--}1,0 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ на тону обробленого насіння. Це значення може бути значно більшим для олійниць ($1,2\text{--}2,0 \text{ кВт}\cdot\text{год}$), завдяки значно більшій кількості олії, що підлягає фільтрації.

Трубопровід від компресора до резервуара може бути з оцинкованого заліза. З резервуара може бути проведена головна трубопровідна лінія з оцинкованої сталі або нержавіючої сталі. Відведення до окремих пневматичних компонентів може здійснюватися за допомогою нейлонових труб.

Висновки за розділом

Процес виробництва лляної олії є енергозатратним та має важливе значення для оцінки ефективності технології. Масовий баланс, на основі якого

здійснюються розрахунки, дозволяє оптимізувати виробничі процеси та забезпечити ефективне використання сировини. За допомогою розрахунків виходу олії та втрат вологи можна спрогнозувати доцільність додаткових операцій, таких як екстракція розчинниками. Енергетична потреба для виробництва лляної олії значно зростає через двоступінчасте пресування, що є необхідним для досягнення високого виходу олії. При цьому важливо враховувати потребу в електроенергії та парі, оскільки ці ресурси складають основну частину витрат на виробництво. Витрати води, зокрема для охолодження, виробництва пари та миття, також повинні бути враховані для забезпечення належних умов роботи обладнання. Дотримання оптимальних умов енергоспоживання та водопостачання дозволяє знизити витрати та підвищити ефективність виробництва.

4 ПЛАНУВАННЯ РОЗМІЩЕННЯ ОБЛАДНАННЯ

4.1 Технологічна схема розміщення обладнання в цеху з виробництва лляної олії

У традиційних олійнях минулого преси зазвичай розміщували на першому (земляному) рівні. Олія витікала з отвору в нижній частині преса і стікала самопливом до підземного резервуара. З цього резервуара вона перекачувалась на фільтрацію за допомогою об'ємного насоса, зазвичай поршневого. Частина осаду (так званий фуз) осідала на дно резервуара і вручну видалялася кожні кілька днів. Крім того, витікання з резервуара могло залишатися непоміченим протягом багатьох днів або тижнів, допоки не втрачалась значна кількість олії, яка просочувалася в ґрунт [29].

У сучасних цехах ручне видалення осаду неприпустиме, оскільки є небезпечним. Тому резервуар для олії має бути розміщений над рівнем землі. Це, своєю чергою, зумовлює необхідність встановлення пресів на першому поверсі (надземному рівні). Таке розташування також дозволяє встановити транспортер, що подає осад із стрічкового сита, на землю – у лінії з іншими транспортерами підготовчої ділянки.

Таким чином, преси зручно розташовують на першому поверсі, поряд з іншим важким обладнанням, таким як дробарки й пластинчасті вальці. Цей поверх стає основною робочою зоною цеху. Покриття підлоги, звісно, має бути з армованого залізобетону (ЗБВ), не лише через статичне навантаження, а й для поглинання вібрацій. Перед пресами залишають достатньо вільного місця для зручного демонтажу довгого пресового валу. Котли для теплової підготовки сировини зазвичай встановлюються безпосередньо над пресами, причому завантажувач преса виконує функцію шнека для вивантаження з котла [30].

Типова схема руху матеріалу з позначенням рівнів розміщення обладнання подана на рисунку 4.1 [14–18].

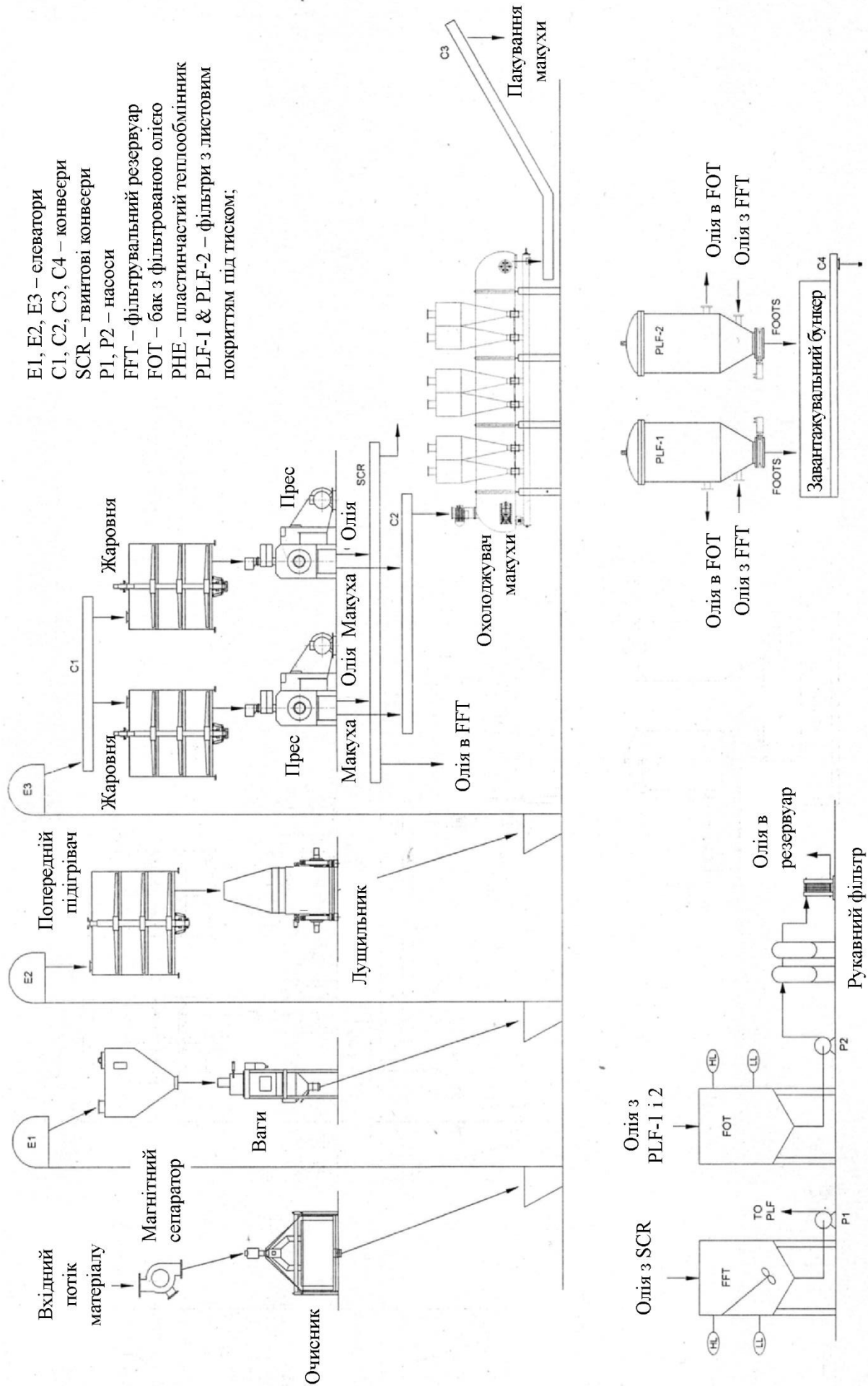


Рисунок 4.1 – Технологічна схема розміщення обладнання в цеху з виробництва лляної олії

Фільтри для олії зручно розміщувати одразу над основним робочим поверхом, а вентиля для керування фільтрами – на самому основному поверсі. На нижньому (земляному) рівні, крім резервуарів для олії, розміщується охолоджувач макухи. Це дозволяє обережно транспортувати макуху за допомогою ланцюгового транспортера до охолоджувача. Охолоджена макуха знову транспортується ланцюговим конвеєром до сусіднього екстракційного цеху.

Пульт керування олійним цехом слід розміщувати на основному робочому поверсі, тоді як щит пускової апаратури електродвигунів, який зазвичай має значно більші розміри, може бути встановлений на земляному поверсі, де більше вільного місця.

Для безпеки на двох протилежних боках будівлі мають бути передбачені двоє сходів. Також необхідно встановити верхню монорейку для підняття та опускання елементів обладнання вздовж бокової стіни будівлі або через технологічні отвори між поверхами.

Рисунок 4.2 показує типові розміщення для невеликого заводу з виробництва олії з льону потужністю 300 т на добу. Розмір будівлі складає $21\text{ м} \times 12\text{ м} \times 15\text{ м}$ в висоту. Завод має два преси з потужністю попереднього пресування по 150 т на добу кожен.

Як видно, основні машини, а саме преси та пластинчастий млин, розташовані на основному операційному поверсі. Кондитер та варильні установки розміщені на поверсі вище, безпосередньо над пластинчастим млином та пресами відповідно. Фільтри також підтримуються на верхньому поверсі, але частково висять під підлогою. Таке розміщення дозволяє отримати доступ до всіх клапанів та оглядових вікон для фільтрів з основного операційного поверху. Панель управління також знаходиться на основному операційному поверсі.

Олійні резервуари, насоси, охолоджувач олії та охолоджувач макухи розташовані на першому поверсі. Панель управління моторними установками (МСС) також зручно розташована на цьому поверсі. Як видно, всі транспортери, що отримують пластівці, макуху або олію з машин на першому поверсі,

проходять під підлогою та подають матеріали до обладнання або ліфтів, що розміщені на першому поверсі.

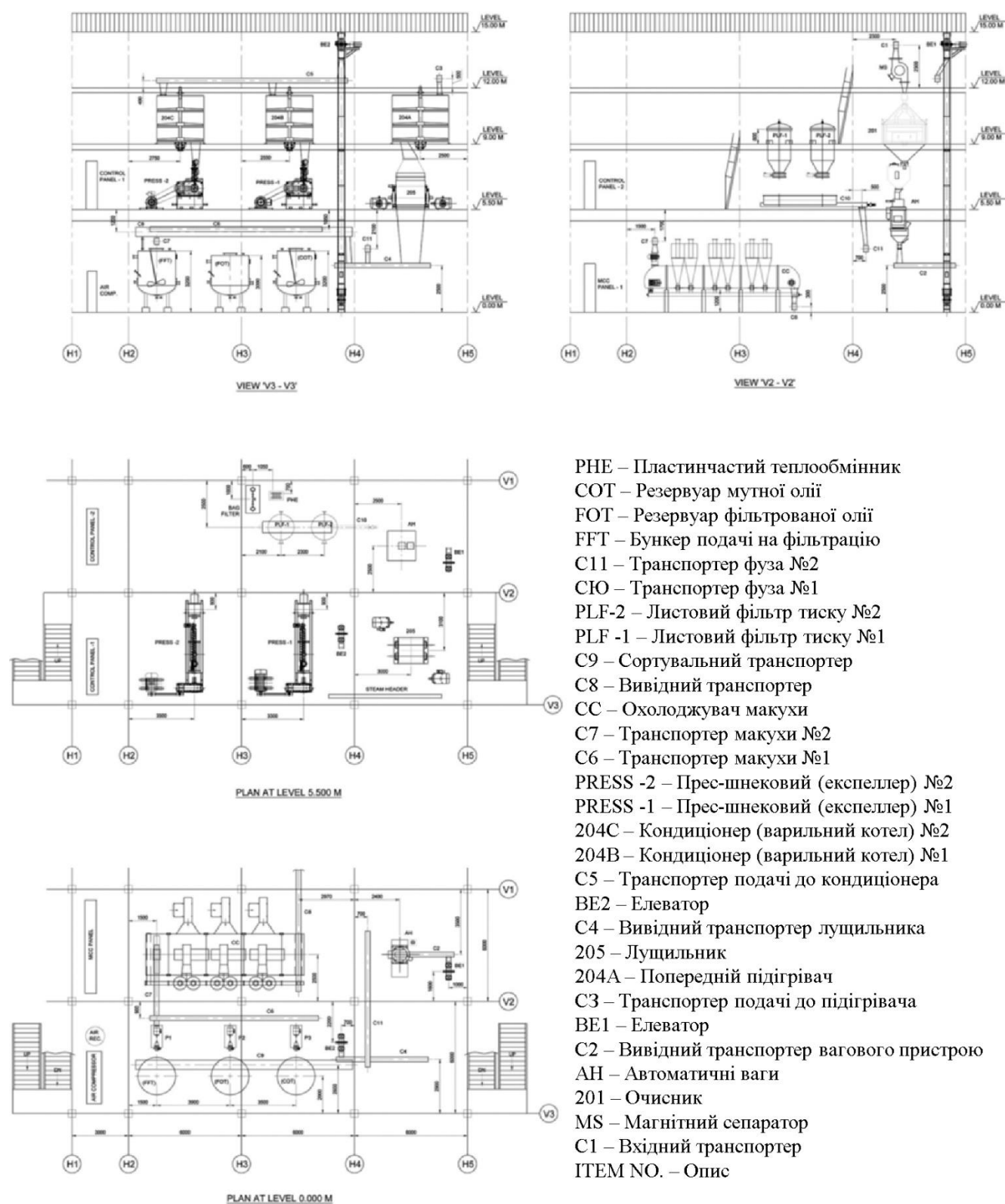


Рисунок 4.2 – Схема олійного заводу

З метою забезпечення ефективної логістики всередині цеху всі транспортні маршрути мають бути ретельно продумані та спроектовані з урахуванням мінімізації горизонтального переміщення сировини, проміжних продуктів і готової продукції. Вертикальне транспортування забезпечується шнеками, ковшовими елеваторами та пневмотранспортом, залежно від характеристик матеріалу та необхідної висоти підйому.

Особливу увагу слід приділити вентиляції цеху. Через інтенсивне виділення парів, пилу та запахів у процесі подрібнення насіння, обсмажування та пресування, передбачено встановлення витяжної вентиляції над пресами, котлами та дробарками. Система аспірації має бути розміщена на даху або в технічному поверсі будівлі, звідки здійснюється централізоване очищення повітря.

Електропостачання організовується за допомогою окремого силового щита з можливістю автоматизованого керування режимами роботи основного обладнання. Всі електродвигуни підключаються через пускозахисну апаратуру, яка встановлюється на нижньому рівні, що спрощує монтаж та обслуговування.

Окремо слід передбачити приміщення для обслуговуючого персоналу: кімнати для зберігання спецодягу, душові, туалети, а також приміщення для зберігання інструментів та запасних частин. Ці приміщення розміщуються вздовж одного з торців будівлі, мають окремий вхід і не перетинаються з технологічними маршрутами, що забезпечує санітарну безпеку виробництва.

Для запобігання надзвичайним ситуаціям, пов'язаним із займанням легкозаймистих речовин (особливо парів олії), передбачається автоматична система пожежогасіння з подачею вогнегасних речовин у зони з високим ризиком – зокрема, в районі котлів та пресів. Всі приміщення повинні бути обладнані датчиками диму, температури та витоку рідин.

Використання сучасної SCADA-системи для моніторингу технологічного процесу в реальному часі дозволяє здійснювати візуалізацію роботи кожної ділянки, а також забезпечити оперативне втручання у випадку виникнення аварійної ситуації. Інтерфейс такої системи розміщується на головному пульті керування.

Загалом, запропонована технологічна схема передбачає компактне, безпечне та енергоефективне розміщення обладнання, що забезпечує високу продуктивність, легкість в обслуговуванні й можливість модернізації в разі потреби.

Висновки за розділом

Отже, технологічна схема розміщення обладнання в цеху з виробництва лляної олії повинна забезпечувати безперервність технологічного процесу, ефективне використання простору, зручність в обслуговуванні та високу безпеку праці. Основне обладнання – преси, дробарки, пластинчасті млини – доцільно розміщувати на основному (надземному) рівні, тоді як резервуари для олії, охолоджувачі та пускова апаратура – на земляному поверсі. Така компоновка дозволяє оптимізувати транспортні маршрути, мінімізувати втрати продукції, забезпечити якісну фільтрацію та зручний контроль за процесом. Врахування сучасних вимог до вентиляції, пожежної безпеки та автоматизованого керування є критично важливим для стабільної та енергоефективної роботи цеху.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Охорона праці та питання безпеки

Забезпечення охорони праці та дотримання вимог безпеки є пріоритетом на всіх етапах життєвого циклу процесного заводу – від проєктування та будівництва до експлуатації, обслуговування та модернізації. Відповідно до статті 13 Закону України «Про охорону праці», роботодавець зобов'язаний створити на кожному робочому місці умови праці відповідно до нормативних актів, забезпечити дотримання вимог безпеки, проводити навчання, інструктажі та медичні огляди працівників.

Безпека повинна дотримуватися не лише під час зведення заводу, але й на постійній основі під час експлуатації. Регулярна безаварійна робота обладнання не повинна призводити до самозаспокоєння персоналу, що може створювати передумови для виникнення небезпечних ситуацій. Тому на підприємствах мають бути впроваджені системи управління охороною праці та програми профілактики нещасних випадків, зокрема: щоденні огляди, регулярні навчання та перевірки знань працівників, аудит безпеки, система повідомлень про потенційні ризики.

Загальні проблеми безпеки. Типові ризики на виробництві охоплюють механічні та електричні загрози. Механічні ризики включають:

- наявність або відсутність належних захисних огорожень на рухомих частинах обладнання;
- контроль за технічним станом редукторів, приводів, мастильних систем;
- запобігання утворенню слизьких поверхонь (масло, олія, вода, інші рідини);
- усунення перешкод на шляхах руху персоналу;
- чітке маркування та захист виступаючих елементів (трубопроводи, балки, елементи конструкцій);
- перевірка герметичності трубопроводів з гарячими рідинами (пара, теплоносії, олії);

- наявність справної теплоізоляції на гарячих поверхнях, особливо після ремонтів чи демонтажу частини ізоляції.

Електричні ризики включають:

- коротке замикання в електрощитовому обладнанні, що може виникнути внаслідок зносу ізоляції або контакторів;
- обхід або несправність блокувальних пристроїв, призначених для запобігання аваріям у разі зупинки одного з елементів технологічного ланцюга;
- відсутність заземлення, неналежне прокладання електрокабелів, перевантаження електромереж.

Згідно з Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НАПБ А.01.001-2004), персонал повинен мати відповідну групу допуску та проходити періодичну перевірку знань.

Специфічні ризики для олійниць. Олієпресувальні підприємства мають свої характерні небезпеки, серед яких:

- *Ризик заїдання транспортерів.* Транспортери для твердих частинок можуть зупинятись через скупчення матеріалу. Повторне заїдання створює навантаження, що може призвести до механічного руйнування. Встановлення перевантажувальних вимикачів (датчиків моменту) є обов'язковим згідно з ДСТУ EN ISO 13849.

- *Потенційне іскроутворення.* Тертя між металевими елементами (наприклад, ланцюг та корпус транспортера) може створювати іскри. Це усувається використанням антиіскрових полімерних вставок (UHMWPE), які одночасно зменшують знос та споживання енергії.

- *Поломка елементів приводу.* Якщо муфта або ланцюг між мотором і транспортером виходить з ладу, а мотор продовжує працювати, можливе пошкодження іншого обладнання. Встановлення датчиків обертання валів або датчиків нульової швидкості – рекомендована практика.

- *Пожежонебезпечність пресового обладнання.* Перегрів у прес-шнеку, особливо під час «другого пресування», може спричинити займання дрібних часток насіння. Надмірне закриття ущільнень збільшує цей ризик. Натомість безпечнішим методом є регулювання швидкості гвинта преса.

– *Калібрування засобів контролю.* Неточна робота температурних та тискових датчиків призводить до неправильного регулювання процесу, що створює ризик аварій. Усі засоби вимірювання повинні проходити періодичну перевірку згідно з Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність».

Законодавчі вимоги. Всі працівники, які залучаються до робіт на процесному обладнанні, повинні пройти:

- первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктаж з охорони праці;
- навчання та перевірку знань з питань охорони праці (не рідше одного разу на 3 роки);
- медичний огляд відповідно до Наказу МОЗ №246;
- забезпечення ЗІЗ (засобами індивідуального захисту) згідно з типовими нормами (затвердженими Мінсоцполітики).

Керівник підприємства несе персональну відповідальність за організацію безпечних умов праці та проведення оцінки ризиків, відповідно до Постанови КМУ №337 «Про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

5.2 Захист навколишнього середовища

Експлуатація сучасної олійниці, на відміну від заводів екстракції розчинниками, характеризується значно меншим негативним впливом на навколишнє середовище. Проте, задля дотримання вимог екологічної безпеки, визначених законами України, зокрема Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про відходи», «Про охорону атмосферного повітря», «Про екологічну експертизу» та вимогами ДСП, ДБН та СанПіН, необхідно реалізувати низку заходів екологічного контролю.

Одним із потенційних джерел забруднення є неправильна експлуатація котельного обладнання. У разі використання вугілля як палива утворюються пил і димові гази, які можуть містити шкідливі речовини (зокрема, золу, SO_x, NO_x). Для запобігання викидам пилу в атмосферу в зоні подрібнення вугілля має бути

встановлена ефективна система аспірації з мішковими фільтрами або циклонами. Димові гази слід очищати за допомогою мішкових фільтрів (з ефективністю до 100 ppm), а на котлах паропроductивністю понад 8 т/год – рекомендується встановлення електростатичних фільтрів. У разі використання вугілля з підвищеним вмістом сірки обов'язковим є впровадження систем лужного абсорбування SO_x .

Зола, що утворюється в результаті спалювання вугілля, має бути утилізована відповідно до вимог Порядку поводження з відходами, затвердженого Кабінетом Міністрів України. Рекомендується її повторне використання у виробництві цегли, цементу, або як будівельний матеріал, попередньо охолодивши та зібравши в окремі відстійники.

У зоні вивантаження насіння можливе утворення великої кількості пилу, особливо при роботі з брудною сировиною. Необхідно забезпечити локальну аспірацію, використовуючи витяжні ковпаки і фільтраційні установки, що запобігають розповсюдженню пилу у виробничих приміщеннях.

У пресі-шнеку можуть утворюватися випари рослинної олії (олійний туман). З метою їх уловлювання рекомендовано використовувати вентиляційні системи з демістерами (вловлювачами туману), а також системи перегородок для зменшення потрапляння аерозолів у навколишнє середовище. Повітря, що видаляється з приміщення, перед викидом має пройти очищення до рівня, що відповідає ГДК, встановленим ДСП 201-97.

Чистота підлог у виробничій зоні має важливе значення як з міркувань охорони праці, так і з екологічних міркувань. Для збирання води, що використовується при митті підлоги, необхідно передбачити масловловлювачі, які запобігають потраплянню олії у стічні води. Далі вода повинна потрапляти до очисної установки, спроектованої для флокуляції, осадження, фільтрації та доочистки стічних вод, відповідно до ДБН В.2.5-75:2013.

Регулярне зливання води з котла для контролю рівня розчинених солей ($\text{TDS} < 2500 \text{ ppm}$) має здійснюватися у спеціальні резервуари. Ця вода, після хімічної нейтралізації, може бути використана для поливу золи, вугілля, а також у господарських цілях, зокрема для озеленення території. Надлишкова вода може

утилізуватися через систему природного випаровування у фільтраційно-випарювальних ставках з аераторами або фонтанами.

Усі заходи із захисту довкілля мають відповідати екологічним умовам місця розташування підприємства, вимогам висновку з оцінки впливу на довкілля, а також бути частиною системи екологічного менеджменту підприємства (ISO 14001). Впровадження та дотримання таких заходів забезпечить мінімальний негативний вплив на навколишнє природне середовище, відповідно до принципів сталого розвитку та вимог національного законодавства.

Висновки за розділом

Забезпечення охорони праці та безпеки на виробництві є фундаментальним аспектом діяльності сучасного підприємства з виробництва рослинної олії. Ефективна система управління охороною праці повинна охоплювати всі етапи життєвого циклу об'єкта – від проєктування до щоденної експлуатації. Реалізація комплексних заходів щодо усунення механічних, електричних і специфічних виробничих ризиків, а також регулярне навчання персоналу, аудит безпеки та забезпечення працівників засобами індивідуального захисту дозволяють мінімізувати ймовірність нещасних випадків та аварій. Дотримання вимог чинного законодавства, зокрема Закону України «Про охорону праці», НАПБ А.01.001-2004, стандартів ДСТУ та постанов КМУ, є обов'язковою умовою для створення безпечного виробничого середовища та запобігання надзвичайним ситуаціям.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

6.1 Розрахунок економічних показників цеху з виробництва лляної олії

Лляна олія є цінним харчовим та технічним продуктом, багатим на ω -3 жирні кислоти, і користується стабільним попитом як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Для оцінки доцільності впровадження виробництва лляної олії методом гарячого пресування виконується економічний розрахунок, який базується на даних масового балансу, споживання енергоносіїв та цінової політики на ринку сировини та готової продукції.

Процес виробництва лляної олії включає такі етапи: очищення, подрібнення, термічна обробка, пресування, фільтрація. У процесі гарячого пресування з 1 т насіння льону отримують у середньому 350,7 кг олії, 616,28 кг макухи та 61,18 кг технологічних втрат (волога, пил, залишкова олія в макусі).

Виробництво потребує використання електроенергії, пари, води та стисненого повітря. Найбільш енергоємними є процеси термічної підготовки насіння та обслуговування преса. Оцінка витрат проводиться з урахуванням середніх тарифів:

- Електроенергія: $45 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т насіння} \rightarrow 202,5 \text{ грн}$
- Пара: $90 \text{ кг} / \text{т насіння} \rightarrow 225 \text{ грн}$
- Стиснене повітря: $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} \rightarrow 4,5 \text{ грн}$
- Вода: $0,13 \text{ м}^3 \rightarrow 4 \text{ грн}$

Загальні витрати на енергоносії становлять 436 грн на 1 т сировини, що є порівняно низькою величиною, зважаючи на автоматизованість процесу та помірну енергоємність технології.

Насіння льону закуповується за ринковою ціною, яка коливається залежно від сезону, регіону та врожайності. Для розрахунку прийнята середня оптова ціна 18 000 грн/т, що складає основу витратної частини. У структурі собівартості витрати на сировину становлять понад 97%, що свідчить про високу залежність прибутковості від цін на насіння.

Головними видами продукції є нерафінована лляна олія та макуха, яка використовується як корм для тварин або як біопаливо. Ринкові ціни станом на момент розрахунку:

- Лляна олія: 50 000 грн/т
- Макуха: 6 000 грн/т

Реалізація 0,3507 т олії дає 17 535 грн, а продаж 0,616 т макухи – 3 696 грн. Загальна виручка з 1 т насіння становить 21 231 грн.

Враховуючи загальні витрати на рівні 18 436 грн, чистий прибуток становить:

$$21\,231 - 18\,436 = 2\,795 \text{ грн/т насіння}$$

Рентабельність виробництва визначається як відношення прибутку до витрат:

$$(2\,795 / 18\,436) \times 100\% \approx 15,2\%$$

Цей рівень рентабельності є економічно доцільним і може бути підвищений за рахунок модернізації обладнання, використання дешевшої енергії (наприклад, від сонячних панелей), або збільшення виходу олії за рахунок оптимізації пресування.

Висновки за розділом

Розрахунок економічної ефективності показує, що виробництво лляної олії є прибутковим. Прибуток на рівні 2795 грн/т сировини дозволяє окупити інвестиції у виробництво за кілька років, особливо при масштабуванні потужностей. Рентабельність виробництва складає 15,2%. Окрім фінансової вигоди, виробництво сприяє утилізації побічних продуктів (макухи), які мають ринкову цінність, та дає можливість експорту готової продукції з високою доданою вартістю.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Льон олійний (*Linum usitatissimum*) є важливою однорічною культурою, яку вирощують переважно для отримання насіння, багатого на цінну лляну олію. Лляна олія має високий вміст α -ліноленової кислоти (ω -3), стеролів та токоферолів, що забезпечує її високу біологічну цінність, але також робить нестійкою до окиснення. Для поліпшення харчових характеристик та зберігання було виведено новий сорт лляної олії «лінола» з низьким вмістом ліноленової кислоти та високою окисною стабільністю. Лляна олія та продукти з насіння льону широко використовують у харчовій промисловості – у виробництві продуктів для здорового харчування, хлібобулочних виробів, паст, спредів та харчових добавок, що забезпечує їм перспективи подальшого розвитку на світовому ринку.

2. Вибір технології виробництва лляної олії залежить від цілей виробництва. Гаряче пресування дає високий вихід олії, але знижує її корисні властивості, тоді як холодне зберігає їх, але має менший вихід. Екстракція забезпечує високу кількість олії, але значно знижує її корисні властивості. Попередня підготовка насіння включає очищення, сушіння та зберігання для запобігання псуванню. Шнекові преса ефективно виділяють олію, мінімізуючи залишки в макусі завдяки своїй конструкції та додатковим системам охолодження та редукторів.

3. Процес виробництва лляної олії є енергозатратним, і масовий баланс дозволяє оптимізувати виробництво та ефективно використовувати сировину. Розрахунки виходу олії та втрат вологи допомагають оцінити доцільність додаткових операцій, таких як екстракція. Енергетичні потреби зростають через двоступінчасте пресування, що вимагає значних витрат електроенергії та пари. Витрати води для охолодження, пари та мийки також важливі для забезпечення ефективної роботи обладнання. Оптимальні умови енергоспоживання та водопостачання дозволяють знизити витрати та підвищити ефективність виробництва.

4. Отже, технологічна схема розміщення обладнання в цеху з виробництва лляної олії повинна забезпечувати безперервність технологічного процесу, ефективне використання простору, зручність в обслуговуванні та високу безпеку праці. Основне обладнання – преси, дробарки, пластинчасті млини – доцільно розміщувати на основному (надземному) рівні, тоді як резервуари для олії, охолоджувачі та пускова апаратура – на земляному поверсі. Така компоновка дозволяє оптимізувати транспортні маршрути, мінімізувати втрати продукції, забезпечити якісну фільтрацію та зручний контроль за процесом. Врахування сучасних вимог до вентиляції, пожежної безпеки та автоматизованого керування є критично важливим для стабільної та енергоефективної роботи цеху.

5. Забезпечення охорони праці та безпеки на виробництві є фундаментальним аспектом діяльності сучасного підприємства з виробництва рослинної олії. Ефективна система управління охороною праці повинна охоплювати всі етапи життєвого циклу об'єкта – від проєктування до щоденної експлуатації. Реалізація комплексних заходів щодо усунення механічних, електричних і специфічних виробничих ризиків, а також регулярне навчання персоналу, аудит безпеки та забезпечення працівників засобами індивідуального захисту дозволяють мінімізувати ймовірність нещасних випадків та аварій.

6. Розрахунок економічної ефективності показує, що виробництво лляної олії є прибутковим. Прибуток на рівні 2795 грн/т сировини дозволяє окупити інвестиції у виробництво за кілька років, особливо при масштабуванні потужностей. Рентабельність виробництва складає 15,2 %. Окрім фінансової вигоди, виробництво сприяє утилізації побічних продуктів (макухи), які мають ринкову цінність, та дає можливість експорту готової продукції з високою доданою вартістю.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Алієв Е.Б., Пацула О.М. Результати досліджень параметрів установки для виготовлення пелет. Тези доп. міжнар. наук. інтернет-конф. «Перспективи та стратегія адаптивного і ресурсозберігаючого вирощування олійних культур в умовах зміни клімату» (30 жовт. 2015 р.). Запоріжжя: ІОК НААН, 2015. С. 146–147.
2. Алієв Е.Б., Пацула О.М. Результати експериментальних досліджень макетної установки для виготовлення пелет. Вісн. ХНТУСГ імені Петра Василенка. Серія: Технічні системи і технології тваринництва. 2015. Вип. 157. С. 222–226.
3. Алієв Е.Б., Пацула О.М. Результати експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет з білкової фракції макухи. Наук.-техн. бюл. ІОК НААН. 2015. Вип. 22. С. 150–158.
4. Алієв Е.Б., Пацула О.М. Техніко-економічна оцінка ефективності безвідхідної переробки макухи. Тези доп. міжнар. наук. інтернет-конф. «Олійні культури. Тенденції та перспективи» (1 листоп. 2016 р.). Запоріжжя: ІОК НААН, 2016. С. 136–137.
5. Алієв Е.Б., Пацула О.М., Гриценко В.Т. Технологія безвідхідної переробки макухи з одержанням протеїнових добавок та біопалива: наук.-метод. рекомендації. Запоріжжя: Статус, 2017. Електрон. аналог друк. вид.
6. Алієв Е.Б. та ін. Методика експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет. Наук. вісн. НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 212, ч. 1. С. 63–69.
7. Алієв Е.Б. та ін. Результати досліджень установки для виготовлення паливних брикетів з лушпинної фракції. Вісн. ХНТУСГ імені Петра Василенка. Серія: Технічні системи і технології тваринництва. 2016. Вип. 170. С. 3–7.
8. Алієв Е.Б. та ін. Результати експериментальних досліджень щіткового роторного просіювача. Тези доп. міжнар. наук. інтернет-конф. «Олійні культури. Тенденції та перспективи» (1 листоп. 2016 р.). Запоріжжя: ІОК НААН, 2016. С. 132–133.

9. Алієв Е.Б. та ін. Визначення параметрів формуючих кулачків установки для виготовлення пелет Вісник Степу. 2016. Вип. 13. С. 125–128.
10. Бакарджієв Р.О., Гриценко В.Т. Параметри кулісного коромисло-повзунного преса-брикетувальника. Зб. наук. праць Таврійського державного агротехнологічного ун-ту. 2013. Т. 3, вип. 13. С. 23–31.
11. Гриценко В.Т. Аналіз досліджень процесу сепарації сипкого матеріалу. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур. 2011. Вип. 16. С. 136–141.
12. Гриценко В.Т. Розробка конструктивно-технологічної схеми лінії переробки макухи з насіння олійних культур. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур. 2011. Вип. 16. С. 153–156.
13. Гриценко В.Т. Технологічний процес виділення білкової фракції з макухи насіння олійних культур. Каталог інноваційних технологій. К.: Всеукраїнський конкурс інноваційних технологій, 2006. С. 139–143.
14. Гриценко В.Т., Бакарджієв Р.О. Перспективи отримання білкових добавок і біопалива з насіння олійних культур. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2013. Т. 2, вип. 98. С. 152–157.
15. Гриценко В.Т., Дурін Ю.О. Технології і лінії переробки олійного насіння з використанням екструдерного методу віджимання олії. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур УААН. 2002. Вип. 7. С. 181–183.
16. Гриценко В.Т. та ін. Експериментальні дослідження брикетувальника лушпинної фракції з макухи. Науково-технічний бюлетень ІОК. 2013. Вип. 19. С. 110–116.
17. Гриценко В.Т. та ін. Результати попередніх випробувань установки для виготовлення паливних брикетів. Науково-технічний бюлетень ІОК НААН. 2014. Вип. 20. С. 219–223.
18. Гриценко В.Т. та ін. Результати попередніх випробувань щіткового роторного просіювача. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2013. Вип. 19. С. 117–122.
19. Cardarelli D.A., Crapiste G.H., Mattea M.A. Modelling and simulation of an oilseed meal desolventizing process. Journal of Food Engineering. 2002. Vol. 52, No. 2. P. 127–133.

20. Carelli A.A., Frizzera L.M., Forbito P.R., Crapiste G.H. Wax composition of sunflower seed oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2002. Vol. 79, No. 8. P. 763–768.
21. Firdaus M., Salleh S. M., Nazir I. та ит. Preliminary design of screw press model of palm oil extraction machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 165. Article ID: 012129. – Busan, Korea.
22. Heinrich D. Warm and hot dehulling of soybean: private communication. 2020.
23. Karnofsky G. Some time-tested tips for washing and leaching. *Chemical Engineering*. 2005. Vol. 112, No. 13. P. 52–55.
24. Kemper T. Oil extraction. In: Shahidi F. (ed.) *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Vol. 5. 6th ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2005. P. 57–98.
25. Keshre P. Processing of castor beans, a case study: private communication. 2019.
26. LeClef E. DeSmet Ballestra Group, Belgium: personal communication. 2020.
27. LeClef E., Kemper T. Sunflower seed preparation and oil extraction. In: Martinez-Force E., Dunford N. T., Salas J. J. (eds.) *Sunflower: Chemistry, Production, Processing and Utilization*. Amsterdam: Elsevier. 2015. P. 235–242.
28. Paraiso P.R., Cauneto H., Zemp R.J., Audrade C.M.G. Modelling and simulation of soybean desolventizing-toasting process. *Journal of Food Engineering*. 2008. Vol. 86, No. 3. P. 334–341.
29. Vadke V.S. Effects of extraction processes on oil quality. *Proc. National Conference on Process and Products Development for Better Economic Benefits to Fats and Oils Industry*. Kolkata: Oil Technologists' Association of India, 2015. P. 51.
30. Vadke V.S. Recent advances in miscella refining of cottonseed oil: paper presented at Cottonseed Oil Conclave. Mumbai: Indian Cottonseed Crushers Association, 2017.