ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

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

Удосконалення екстракційної технології отримання рослинних олій із використанням розчинників

Виконав: здобувач вищої освіти 3 курсу,
групи ХТС-1-23 освітньо-професійної програми «Харчові технології» зі спеціальності
181 «Харчові технології»

_____ Денис ЛОБОДА

Керівник: _____ Ігор КУДРЯВЦЕВ

Дніпро 2026

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)
«01» травня 2026 р.

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

Лободі Денису Миколайовичу

1. Тема роботи: «Удосконалення екстракційної технології отримання рослинних олій із використанням розчинників».
Керівник роботи: Кудрявцев Ігор Миколайович, доктор філософії, асистент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «01» травня 2026 року № 875.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 08 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія виробництва рослинних олій із використанням розчинників. 2. Наукова, нормативна, навчальна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Загальна частина. 2 Технологічна частина. 3 Проєктна частина. 4 Впровадження елементів системи НАССР. 5 Охорона праці захист навколишнього середовища. 6 Техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Мета і завдання досліджень. 2 Технологічна частина. 3 Проєктна частина. 4 Впровадження елементів системи НАССР. 5 Карта безпеки праці. 6 Техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Асистент КУДРЯВЦЕВ Ігор	01.05.26	08.06.26

7. Дата видачі завдання 01 травня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.05-04.05.26	виконано
2	Загальна частина	05.05-07.05.26	виконано
3	Технологічна частина	08.05-14.05.26	виконано
4	Проєктна частина	15.05-21.05.26	виконано
5	Впровадження елементів системи НАССР	22.05-31.05.26	виконано
6	Охорона праці захист навколишнього середовища	01.06-02.06.26	виконано
7	Техніко-економічне обґрунтування	02.06-03.06.26	виконано
8	Формулювання висновків по роботі та списку використаних джерел	04.06-05.06.26	виконано
9	Підготовка демонстраційного матеріалу	05.06-08.06.26	виконано

Здобувач вищої освіти _____ Денис ЛОБОДА
(підпис)

Керівник роботи _____ Ігор КУДРЯВЦЕВ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: **«Удосконалення екстракційної технології отримання рослинних олій із використанням розчинників»**

Кваліфікаційна робота: 67 сторінок, 11 рисунків, 33 літературних джерела.

Об'єкт дослідження – процес екстракції рослинних олій із олійної сировини із застосуванням органічних розчинників.

Предмет дослідження – закономірності масообміну, конструктивні особливості екстракційного обладнання та технологічні параметри процесу, що впливають на ефективність вилучення олії.

Метою роботи є удосконалення екстракційної технології отримання рослинних олій із використанням розчинників шляхом оптимізації конструктивних та режимних параметрів процесу, а також підвищення ефективності масообмінних процесів.

У роботі досліджено технологію отримання рослинних олій методом екстракції розчинниками. Проаналізовано ринок олійних культур, склад і властивості олій, а також сучасні технології їх виробництва. Розроблено технологічну схему, виконано розрахунки процесу та обґрунтовано планування екстракційного заводу. Розглянуто питання безпеки, екології та впровадження системи НАССР. Проведено техніко-економічне обґрунтування, що підтверджує ефективність технології.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РОСЛИННА ОЛІЯ; ЕКСТРАКЦІЯ; РОЗЧИННИК; ГЕКСАН; ОЛІЙНІ КУЛЬТУРИ; ШРОТ; ДЕСОЛЬВЕНТАЦІЯ; ДИСТИЛЯЦІЯ МІСЦЕЛИ; РЕКУПЕРАЦІЯ РОЗЧИННИКА; ТЕХНОЛОГІЧНА ЛІНІЯ; НАССР; ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД 10
1.1 Актуальний стан і динаміка розвитку ринку олійних культур України 10
1.2 Аналіз ринку виробництва рослинної олії в Україні 14
1.3 Хімічний склад та поживна цінність рослинних олій 18
1.4 Аналіз технології виробництва рослинної олії 21
1.5 Використання рослинної олії в харчовій промисловості 25
Висновки за розділом 27
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 29
2.1 Технологія вилучення рослинних олій екстракцією розчинниками 29
2.2 Десольвентація відпрацьованого шроту 36
2.3 Дистиляція місцели 39
2.4 Рекуперація розчинника з вентиляційного повітря 42
Висновки за розділом 44
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА 45
3.1 Вихідні дані для проєктування 45
3.2 Розрахунок екстракційної технології отримання рослинних олій 47
3.3 Типове планування екстракційного заводу з використанням розчинників 50
Висновки за розділом 55
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 56
4.1 Охорона праці та питання безпеки 56
4.2 Захист навколишнього середовища 57
Висновки за розділом 58
5 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР 59
5.1 Впровадження елементів системи НАССР при екстракційної технології отримання рослинних олій 59
Висновки за розділом 60
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ 61

6.1 Розрахунок економічних показників екстракційної технології отримання рослинних олій 61
Висновки за розділом 62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 63
БІБЛІОГРАФІЯ 65

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу України та світу виробництво рослинних олій посідає важливе місце у структурі харчової, кормової та енергетичної продукції. Рослинні олії є стратегічно важливою сировиною, що використовується не лише в харчовій промисловості, але й у фармацевтичній, косметичній галузях, а також для виробництва біопалива. З огляду на це, підвищення ефективності технологій їх отримання є одним із ключових завдань інженерії харчових виробництв.

Традиційно отримання рослинних олій здійснюється двома основними способами: механічним (пресування) та екстракційним із застосуванням органічних розчинників. Екстракційна технологія, на відміну від пресування, забезпечує більш повне вилучення олії з олійної сировини, що дозволяє значно підвищити вихід готового продукту. Саме тому в промислових умовах вона набула широкого поширення, особливо при переробці насіння соняшнику, сої, ріпаку та інших олійних культур.

Разом з тим, існуючі екстракційні технології мають низку суттєвих недоліків. До них належать значні витрати енергії, використання токсичних та вибухонебезпечних розчинників (переважно гексану), складність апаратурного оформлення процесу, а також необхідність забезпечення високого рівня екологічної та пожежної безпеки. Крім того, залишковий вміст розчинника у шроті та олії потребує додаткових операцій десорбції та очищення, що ускладнює технологічний процес і підвищує його собівартість.

У зв’язку з цим особливої актуальності набуває питання удосконалення екстракційних технологій отримання рослинних олій. Основні напрями такого удосконалення включають: оптимізацію параметрів процесу екстракції, підвищення ефективності масообміну, зменшення витрат розчинника, впровадження нових, більш безпечних екстрагентів, а також модернізацію технологічного обладнання. Важливим аспектом є також зниження негативного

впливу виробництва на навколишнє середовище та підвищення енергоефективності процесу.

Сучасні дослідження у цій галузі спрямовані на розробку інноваційних методів екстракції, зокрема використання надкритичних флюїдів, ультразвукової та мікрохвильової інтенсифікації процесу, а також комбінованих технологій, що поєднують механічні та екстракційні методи. Водночас, незважаючи на значний науковий доробок, багато питань залишаються недостатньо вивченими, особливо в частині адаптації новітніх технологій до умов реального виробництва.

Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю підвищення ефективності переробки олійної сировини, зниження енерговитрат та покращення якості кінцевої продукції. Удосконалення екстракційної технології дозволить не лише збільшити вихід олії, але й забезпечити більш раціональне використання сировинних ресурсів, що є особливо важливим в умовах обмеженості природних ресурсів та зростання світового попиту на рослинні олії.

Метою роботи є удосконалення екстракційної технології отримання рослинних олій із використанням розчинників шляхом оптимізації конструктивних та режимних параметрів процесу, а також підвищення ефективності масообмінних процесів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **основні завдання**:

– проаналізувати сучасний стан і тенденції розвитку ринку олійних культур України;

– дослідити ринок виробництва рослинної олії; вивчити хімічний склад та поживну цінність рослинних олій;

– проаналізувати існуючі технології виробництва рослинної олії та напрями її використання у харчовій промисловості;

– обґрунтувати технологію вилучення олії екстракцією розчинниками;

– дослідити процеси десольвентації шроту, дистиляції місцели та рекуперації розчинника;

– сформувати вихідні дані для проєктування;

– виконати розрахунок екстракційної технології;

– розробити типове планування екстракційного заводу;

– оцінити умови охорони праці та екологічної безпеки;

– впровадити елементи системи НАССР;

– провести техніко-економічне обґрунтування ефективності технології.

Об’єктом дослідження є процес екстракції рослинних олій із олійної сировини із застосуванням органічних розчинників.

Предметом дослідження є закономірності масообміну, конструктивні особливості екстракційного обладнання та технологічні параметри процесу, що впливають на ефективність вилучення олії.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання при проектуванні та модернізації технологічних ліній з виробництва рослинних олій, що дозволить підвищити ефективність виробництва, зменшити витрати енергії та покращити якість продукції.

Таким чином, удосконалення екстракційної технології отримання рослинних олій є важливим науково-технічним завданням, вирішення якого сприятиме розвитку харчової промисловості, підвищенню конкурентоспроможності продукції та забезпеченню сталого використання природних ресурсів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Актуальний стан і динаміка розвитку ринку олійних культур України

Ринок олійних культур займає провідне місце в структурі аграрного сектору України та є одним із ключових елементів національної економіки загалом. Його значущість зумовлена тим, що Україна традиційно виступає одним із світових лідерів за обсягами виробництва та експорту продукції олійно-жирового комплексу, зокрема соняшникової олії. Саме продукція цього сегмента забезпечує вагомі валютні надходження до державного бюджету, що набуває особливої актуальності в умовах сучасних економічних викликів, спричинених повномасштабною війною.

Олійні культури та продукти їх переробки формують значну частку експортного потенціалу України, сприяють розвитку суміжних галузей, таких як тваринництво, харчова промисловість, енергетика, а також виступають важливим фактором забезпечення продовольчої та енергетичної безпеки держави. Водночас сучасний стан функціонування цього ринку характеризується впливом комплексу різноманітних чинників, більшість із яких мають негативний характер.

Ключовим дестабілізуючим фактором є повномасштабна війна, яка суттєво ускладнила здійснення аграрної діяльності. Зокрема, спостерігаються значні труднощі з проведенням посівних і збиральних кампаній, порушення логістичних ланцюгів, проблеми зі зберіганням та транспортуванням продукції, дефіцит ресурсів, а також обмежений доступ до окремих сільськогосподарських угідь через їх тимчасову окупацію або замінування. Усе це негативно позначається на обсягах виробництва, якості продукції та конкурентоспроможності вітчизняних виробників на світових ринках, що й обумовлює актуальність даного дослідження.

Проблематика розвитку ринку олійних культур, дослідження чинників його функціонування, аналіз сучасних тенденцій та прогнозування подальших напрямів розвитку перебуває у центрі уваги багатьох вітчизняних науковців,

аналітичних центрів, галузевих організацій та профільних установ. Значний внесок у дослідження цього питання зроблено низкою науковців.

Зокрема, Чехова І.В. [1, 2] у своїх наукових працях та монографіях здійснює ґрунтовний теоретичний і практичний аналіз ринку олійних культур України, визначає його структурні особливості, роль у світовому господарстві та основні тенденції розвитку в сучасних умовах. Її дослідження дозволяють комплексно оцінити функціонування цього сегмента аграрної економіки.

Кузьменко С., Гаврилюк В., Мельниченко В. [3] приділяють увагу аналізу сучасного стану ринку олійних культур, зокрема оцінюють його динаміку та визначають перспективні напрями подальшого розвитку з урахуванням внутрішніх і зовнішніх факторів впливу.

Семенда Д.К., Семенда О.В. [4] здійснюють комплексну оцінку розвитку ринку продукції олійних культур, аналізуючи позиції України на світовому ринку за основними культурами, такими як соняшник, ріпак і соя. Їхні дослідження базуються на аналізі динаміки виробництва, експорту та імпорту, що дозволяє визначити закономірності розвитку галузі та окреслити ключові тенденції.

Коломієць Т.В. [5] досліджує перспективи розвитку біоенергетики в Україні в умовах війни, зокрема акцентує увагу на можливостях використання аграрної сировини як біомаси. У її роботах визначено основні види біомаси в сільському господарстві, серед яких важливе місце займають побічні продукти переробки олійних культур, що відкриває нові можливості для їх ефективного використання.

Окрім наукових досліджень, важливим джерелом інформації щодо функціонування ринку є матеріали спеціалізованих аналітичних ресурсів, зокрема профільних аграрних платформ, галузевих асоціацій та інформаційних агентств. Значну роль у забезпеченні достовірної статистичної інформації відіграє Державна служба статистики України, дані якої дозволяють здійснювати комплексний аналіз розвитку ринку та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

При дослідженні сучасного стану ринку важливо визначити склад олійних культур. До них належить широка група рослин, насіння яких містить значну

кількість жирної олії. Серед них: соняшник, ріпак, соя, сафлор, гірчиця, льон, кунжут, арахіс, рицина, коноплі, бавовник та інші. Основними культурами, що формують ринок в Україні, є соняшник, соя та ріпак, тоді як альтернативні культури, такі як гірчиця, льон та кунжут, мають додатковий потенціал розвитку.

Рисунок 1.1 – Стан і динаміка розвитку ринку олійних культур України

Зазначені культури мають широке застосування: вони використовуються для виробництва рослинних олій, кормів для тварин, технічних продуктів, а також як сировина для виробництва біопалива. Зокрема, побічні продукти переробки соняшнику (лушпиння), солома ріпаку та інші відходи можуть ефективно використовуватись як біомаса. Це особливо важливо в умовах пошкодження енергетичної інфраструктури, коли питання енергетичної незалежності набуває критичного значення.

Незважаючи на складні умови функціонування, Україна продовжує зберігати провідні позиції на світовому ринку рослинних олій. Значні обсяги експорту соняшникової олії свідчать про високий рівень розвитку галузі. Водночас спостерігається тенденція до зменшення експорту сировини та

збільшення частки продукції глибокої переробки, що сприяє створенню доданої вартості всередині країни.

Важливим напрямом розвитку ринку є також використання олійних культур у виробництві альтернативних джерел енергії, зокрема біодизелю. Це відкриває перспективи для підвищення енергетичної незалежності України та зменшення залежності від імпортних енергоносіїв.

Аналіз статистичних даних свідчить про те, що у 2022 році відбулося суттєве зниження основних показників виробництва олійних культур, що було спричинено воєнними діями, порушенням логістики, дефіцитом ресурсів, кліматичними факторами та відтоком трудових ресурсів. Проте вже у 2023 році спостерігається поступове відновлення галузі, що свідчить про її високий адаптаційний потенціал.

Серед основних причин зниження ефективності виробництва у 2022 році можна виділити: бойові дії та окупацію територій, проблеми з матеріально-технічним забезпеченням, несприятливі погодні умови, економічну невизначеність та міграцію населення. Усі ці фактори комплексно вплинули на функціонування аграрного сектору.

Окрему увагу слід приділити викликам, пов’язаним із пошкодженням енергетичної інфраструктури, що ускладнює діяльність підприємств та підвищує їх витрати. У цьому контексті використання біомаси з олійних культур може стати ефективним рішенням для забезпечення енергетичної стабільності.

Таким чином, результати проведеного аналізу свідчать про те, що ринок олійних культур України, незважаючи на значні виклики, демонструє здатність до відновлення та подальшого розвитку. Найбільш вагомими культурами залишаються соняшник, ріпак і соя, які забезпечують значний внесок у національну економіку.

Водночас перспективним напрямом розвитку є розширення використання олійних культур та їх відходів у біоенергетиці, що сприятиме досягненню енергетичної незалежності держави. Саме тому подальші наукові дослідження

доцільно спрямувати на вивчення потенціалу біоенергетики та удосконалення технологій переробки олійної сировини.

1.2 Аналіз ринку виробництва рослинної олії в Україні

Ринок виробництва рослинної олії в Україні є одним із найбільш розвинених і стратегічно важливих сегментів агропромислового комплексу. Україна стабільно займає провідні позиції на світовому ринку соняшникової олії, забезпечуючи понад 30–35% світового експорту цієї продукції. Основною сировинною базою для виробництва рослинних олій виступають соняшник, соя та ріпак, причому частка соняшнику у структурі виробництва перевищує 70–75%.

У 2020 році загальний обсяг виробництва рослинних олій в Україні становив близько 7,0 млн тонн, з яких понад 6,4 млн тонн припадало на соняшникову олію. У 2021 році спостерігалося зростання виробництва до 7,7 млн тонн, що було обумовлено високим урожаєм олійних культур (зокрема, валовий збір соняшнику перевищив 16,3 млн тонн). Урожайність соняшнику у 2021 році досягла 26,4–27,3 ц/га, що стало одним із найкращих показників за останнє десятиліття.

У 2022 році, у зв’язку з початком повномасштабної війни, відбулося суттєве зниження виробничих показників. Загальний обсяг виробництва рослинної олії скоротився до приблизно 5,5–6,0 млн тонн, що на 20–25% менше порівняно з попереднім роком. Основними причинами стали скорочення посівних площ (до 4,7–4,9 млн га під соняшником), порушення логістичних маршрутів, дефіцит палива та добрив, а також тимчасова втрата частини виробничих потужностей.

У 2023 році ринок почав поступово відновлюватися. Загальний обсяг виробництва рослинних олій зріс до 6,5–6,8 млн тонн, з яких близько 6,0–6,2 млн тонн становила соняшникова олія. Урожай соняшнику досяг 12,5–13,5 млн тонн, а площі посіву поступово збільшилися до 5,0–5,3 млн га. Водночас врожайність залишалася дещо нижчою за довоєнні показники – у межах 23–25 ц/га.

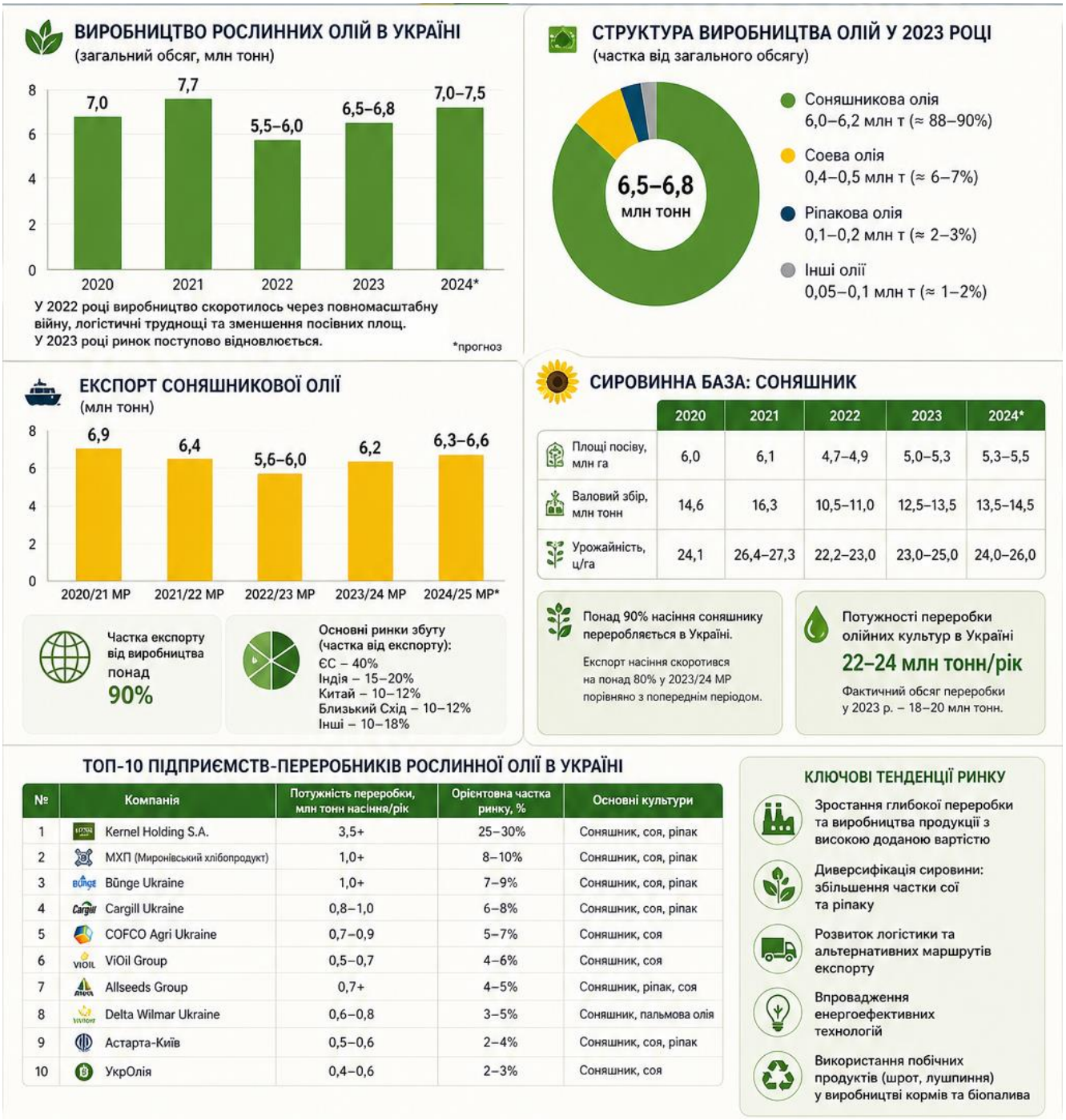

Рисунок 1.2 – Аналіз ринку виробництва рослинної олії в Україні

Важливою характеристикою ринку є його експортна орієнтація. У 2020/21 маркетинговому році Україна експортувала близько 6,9 млн тонн соняшникової олії, що становило понад 90% від загального обсягу виробництва. У 2022/23 МР експорт скоротився до 5,6–6,0 млн тонн через блокування портів та ускладнення логістики, однак уже у 2023/24 МР обсяги експорту знову зросли до 6,2 млн тонн.

Основними ринками збуту є країни ЄС (близько 40%), Індія (15–20%), Китай (10–12%) та країни Близького Сходу.

Особливістю українського ринку є високий рівень переробки сировини всередині країни. Якщо у 2010-х роках значна частка насіння соняшнику експортувалася, то станом на 2023–2024 роки понад 90% сировини переробляється на внутрішніх підприємствах. Зокрема, у 2023/24 МР експорт насіння соняшнику скоротився більш ніж на 80% у порівнянні з попереднім періодом, що свідчить про переорієнтацію галузі на виробництво продукції з високою доданою вартістю.

Ринок переробки олійних культур в Україні характеризується високим рівнем концентрації. Основну частку виробництва контролюють великі агропромислові холдинги та вертикально інтегровані компанії, які мають власну сировинну базу, переробні потужності та логістичну інфраструктуру.

До ТОП-10 підприємств-переробників рослинної олії в Україні належать:

1. **Kernel Holding S.A.** – найбільший виробник соняшникової олії в Україні, з часткою ринку близько 25–30% та річною потужністю переробки понад 3,5 млн тонн насіння.
2. **МХП (Миронівський хлібопродукт)** – активно розвиває напрям переробки олійних культур, потужності перевищують 1 млн тонн на рік.
3. **Bunge Ukraine** – міжнародна компанія, яка має потужності переробки понад 1,0 млн тонн.
4. **Cargill Ukraine** – один із найбільших інвесторів у переробку олійних культур, потужності близько 0,8–1,0 млн тонн.
5. **COFCO Agri Ukraine** – китайська корпорація, яка активно розвиває переробні активи в Україні.
6. **ViOil Group** – один із провідних національних виробників олії, потужності понад 0,5 млн тонн.
7. **Allseeds Group** – сучасний олійноекстракційний завод із потужністю понад 0,7 млн тонн.

8. **Delta Wilmar Ukraine** – підприємство з іноземними інвестиціями, спеціалізується на переробці та експорті олії.

9. **Астарта-Київ** – агрохолдинг, що диверсифікує діяльність, включаючи переробку олійних культур.

10. **УкрОлія** – українська компанія з розвиненими потужностями переробки та експорту.

Сукупна потужність переробки олійних культур в Україні оцінюється у 22–24 млн тонн на рік, що значно перевищує фактичні обсяги виробництва сировини (18–20 млн тонн). Це створює високий рівень конкуренції між переробниками та стимулює інвестиції у підвищення ефективності виробництва.

Серед ключових тенденцій розвитку ринку варто виділити:

– зростання частки глибокої переробки продукції;

– диверсифікацію сировинної бази (збільшення ролі сої та ріпаку);

– розвиток логістичної інфраструктури (зокрема, альтернативних маршрутів експорту);

– впровадження енергоефективних технологій;

– використання побічних продуктів переробки (шрот, лушпиння) у виробництві біопалива.

Важливим напрямом розвитку є інтеграція ринку рослинних олій із сектором біоенергетики. Наприклад, з 1 тонни насіння ріпаку можна отримати близько 400–420 кг олії, яка може бути використана для виробництва біодизеля. При цьому побічні продукти (шрот) використовуються як високобілковий корм для тварин.

Незважаючи на складні умови функціонування, ринок виробництва рослинної олії в Україні демонструє високу адаптивність. У 2024–2025 роках прогнозується зростання виробництва олійних культур до 21–22 млн тонн, що дозволить забезпечити виробництво рослинної олії на рівні 7,0–7,5 млн тонн.

Таким чином, ринок виробництва рослинної олії в Україні є динамічним, експортно орієнтованим та стратегічно важливим сектором економіки. Його подальший розвиток пов’язаний із підвищенням ефективності переробки,

розширенням ринків збуту, впровадженням інноваційних технологій та інтеграцією з енергетичним сектором.

1.3 Хімічний склад та поживна цінність рослинних олій

Рослинні олії є важливим компонентом харчування людини та мають високу біологічну й енергетичну цінність. Вони виступають джерелом есенціальних жирних кислот, жиророзчинних вітамінів і біологічно активних сполук, що відіграють ключову роль у метаболічних процесах організму. Хімічний склад рослинних олій значною мірою залежить від виду сировини, умов вирощування культур, технології переробки та способу очищення.

Основу рослинних олій становлять триацилгліцерини (тригліцериди), частка яких складає 95–98% від загальної маси. Тригліцериди являють собою складні ефіри гліцерину та жирних кислот. Саме жирнокислотний склад визначає фізико-хімічні властивості олії, її харчову цінність і стабільність до окиснення.

Жирні кислоти поділяються на насичені, мононенасичені та поліненасичені. У більшості рослинних олій переважають ненасичені жирні кислоти, частка яких становить 70–90%. Наприклад, у соняшниковій олії вміст ненасичених жирних кислот досягає 85–90%, у соєвій – 80–85%, у ріпаковій – близько 90%. Насичені жирні кислоти представлені переважно пальмітиновою та стеариновою кислотами і складають 10–15%.

Особливе значення мають поліненасичені жирні кислоти, зокрема лінолева (Омега-6) та α-ліноленова (Омега-3). У соняшниковій олії вміст лінолевої кислоти становить 55–70%, у соєвій – 50–60%, а в ріпаковій – 20–25%. Водночас ріпакова олія містить до 8–12% α-ліноленової кислоти, що робить її більш збалансованою за співвідношенням Омега-6/Омега-3 (приблизно 2:1–4:1), тоді як у соняшниковій олії це співвідношення може перевищувати 100:1.

Мононенасичені жирні кислоти, зокрема олеїнова кислота (Омега-9), також відіграють важливу роль. У високоолеїнових сортах соняшнику її вміст може досягати 75–85%, що значно підвищує окиснювальну стабільність олії та її

термостійкість. У ріпаковій олії вміст олеїнової кислоти становить 55–65%, що також позитивно впливає на її харчові властивості.

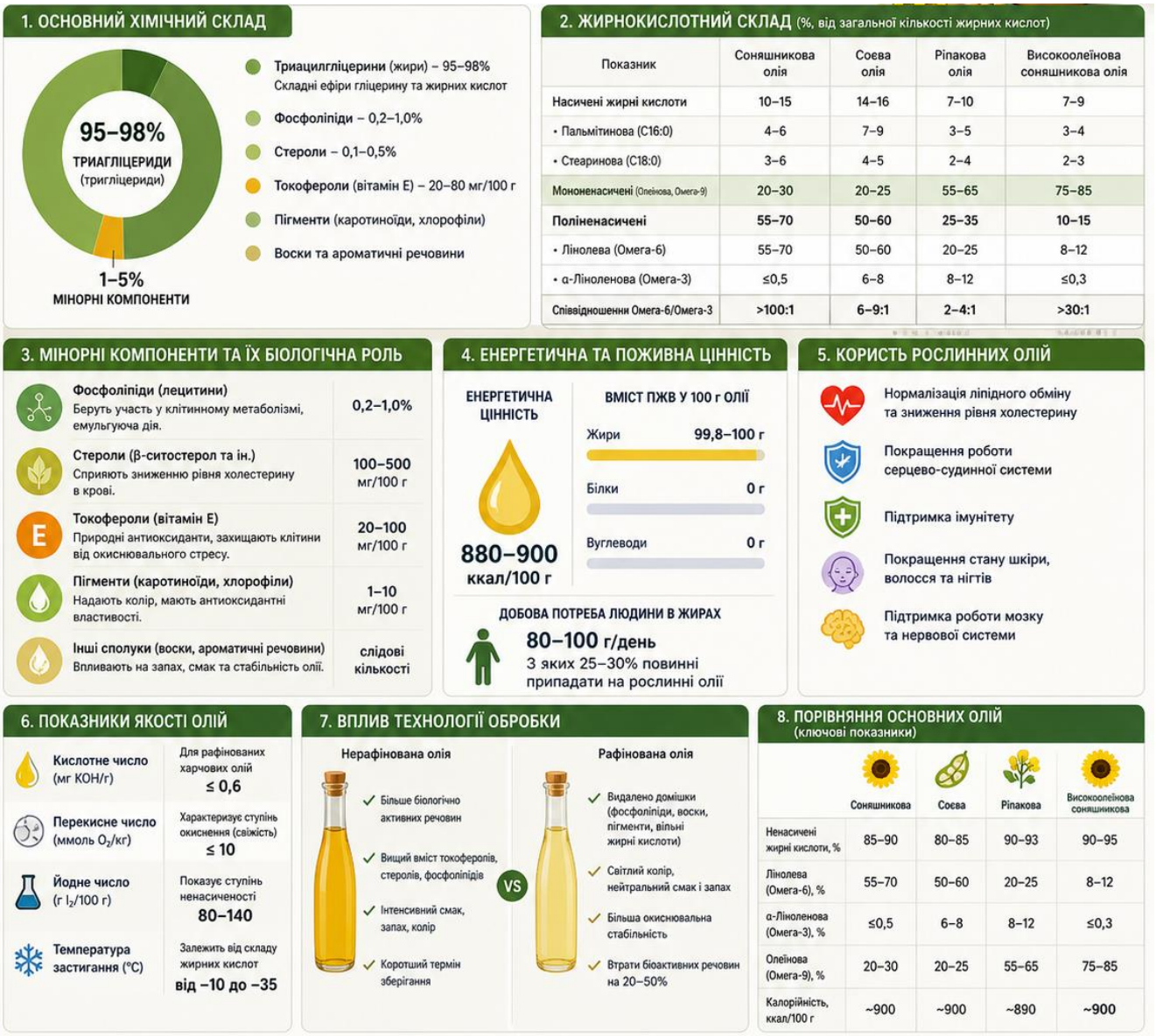

Рисунок 1.3 – Хімічний склад та поживна цінність рослинних олій

Окрім тригліцеридів, у складі рослинних олій містяться так звані мінорні компоненти (1–5%), які мають важливе біологічне значення. До них належать фосфоліпіди (0,2–1,0%), стероли (0,1–0,5%), токоферoли (вітамін Е) – 20–80 мг/100 г, пігменти (каротиноїди, хлорофіли), а також воски та ароматичні сполуки.

Фосфоліпіди (лецитини) відіграють важливу роль у клітинному метаболізмі та широко використовуються в харчовій промисловості як емульгатори. У нерафінованих оліях їх вміст може досягати 1%, тоді як у рафінованих – значно знижується.

Стероли (зокрема β-ситостерол) мають гіпохолестеринемічну дію та сприяють зниженню рівня холестерину в крові. Їх вміст у рослинних оліях становить 100–500 мг/100 г.

Токофероли є природними антиоксидантами, які захищають клітини від окиснювального стресу. У соняшниковій олії їх вміст може досягати 60–70 мг/100 г, у соєвій – до 80–100 мг/100 г, у ріпаковій – 20–40 мг/100 г. Найбільш активною формою є α-токоферол.

Енергетична цінність рослинних олій є високою і становить близько 880–900 ккал на 100 г продукту. Це пояснюється високим вмістом жирів (99,8–100%), тоді як білки та вуглеводи практично відсутні.

Важливим показником якості олії є її кислотне число, яке характеризує вміст вільних жирних кислот. Для харчових рафінованих олій воно зазвичай не перевищує 0,6 мг КОН/г. Перекисне число (до 10 ммоль O_2/кг) характеризує ступінь окиснення олії та її свіжість.

Поживна цінність рослинних олій визначається не лише енергетичним потенціалом, а й їх здатністю забезпечувати організм незамінними жирними кислотами. Добова потреба людини в жирах становить приблизно 80–100 г, з яких 25–30% мають припадати на рослинні олії.

Регулярне споживання рослинних олій сприяє:

– нормалізації ліпідного обміну;

– зниженню рівня холестерину;

– покращенню роботи серцево-судинної системи;

– зміцненню імунітету;

– покращенню стану шкіри та волосся.

Однак важливим є дотримання балансу жирних кислот. Надлишок Омега-6 при дефіциті Омега-3 може сприяти розвитку запальних процесів. Саме тому

сучасні тенденції харчування спрямовані на використання олій із більш збалансованим складом, таких як ріпакова або соєва.

Технологія виробництва суттєво впливає на хімічний склад олії. Рафінація дозволяє видалити небажані домішки (фосфоліпіди, вільні жирні кислоти, пігменти), але водночас знижує вміст біологічно активних речовин на 20–50%. Нерафіновані олії зберігають більше корисних компонентів, але мають менший термін зберігання.

Таким чином, рослинні олії є цінним харчовим продуктом із високою енергетичною та біологічною цінністю. Їх хімічний склад характеризується високим вмістом ненасичених жирних кислот, наявністю антиоксидантів і біологічно активних речовин. Раціональне використання різних видів олій дозволяє забезпечити оптимальний баланс поживних речовин та сприяє збереженню здоров'я людини.

1.4 Аналіз технології виробництва рослинної олії

Технологія виробництва рослинної олії є складним багатостадійним процесом, який охоплює підготовку сировини, вилучення олії, її очищення та доведення до товарного вигляду. Ефективність кожного етапу визначає не лише вихід готової продукції, але й її якість, стабільність та економічну доцільність виробництва. В сучасних умовах особливого значення набуває комплексний підхід до аналізу технології, що враховує як фізико-хімічні властивості сировини, так і інноваційні методи переробки.

Сировинною базою для виробництва рослинних олій є широкий спектр олійних культур, які умовно поділяють на дві групи. До першої групи належать культури, які спеціально вирощуються для отримання олії, зокрема соняшник, ріпак та кліщовина. До другої групи входять рослини, основне призначення яких пов'язане з отриманням інших видів продукції, але їх насіння також використовується для виробництва олії – це соя, льон, бавовник, арахіс, гірчиця та коноплі. Основний обсяг виробництва рослинних олій в Україні формується за

рахунок соняшнику, частка якого перевищує 70%, тоді як соя та ріпак забезпечують відповідно 15–20% та 10–15%.

За вмістом жиру в насінні олійні культури поділяються на три групи: малоолійні (15–35% жиру, наприклад соя), середньоолійні (30–55%, зокрема бавовник) та високоолійні (понад 55%, до яких належать соняшник, льон і арахіс). Вміст олії безпосередньо впливає на вибір технології переробки та економічну ефективність виробництва.

Першим етапом технологічного процесу є зберігання олійного насіння. Для збереження його якості необхідно забезпечити умови, за яких біохімічні процеси, зокрема дихання, відбуваються з мінімальною інтенсивністю. Основними факторами, що впливають на стабільність насіння, є вологість (оптимально на 2–3% нижче критичної), температура (бажано не вище 10–15°C) та обмеження доступу повітря. За дотримання таких умов можна значно зменшити втрати сухих речовин і запобігти самозігріванню насіння.

Підготовка насіння до переробки включає очищення та сушіння. Очищення здійснюється з використанням повітряно-ситових сепараторів, які дозволяють видалити домішки за рахунок різниці у розмірах, масі та аеродинамічних властивостях. Ефективність очищення досягає 95–98%. Додатково застосовуються магнітні уловлювачі для видалення металевих домішок. Після очищення насіння піддається сушінню до вологості 6–8%, що забезпечує його стабільність при подальшій переробці.

Важливим етапом є кондиціонування насіння, яке передбачає його теплову обробку при температурі 60–105°C. На першій стадії відбувається зволоження до 7–9% і нагрівання до 60°C, що сприяє набуханню клітин та полегшенню виділення олії. На другій стадії здійснюється сушіння до вологості 5–6% при температурі близько 105°C, що забезпечує оптимальні умови для руйнування клітинної структури.

Наступним етапом є подрібнення насіння, у результаті якого утворюється м’ятка – матеріал із високорозвиненою поверхнею. Це дозволяє збільшити площу

контакту та підвищити ефективність вилучення олії. У добре підготовленій м’ятці частка зруйнованих клітин може досягати 80–90%.

Вилучення олії здійснюється двома основними методами: пресуванням та екстракцією. Пресування є механічним способом і реалізується на шнекових пресах. При переробці високоолійної сировини застосовується дворазове пресування: спочатку на форпресах (попереднє вилучення до 70% олії), а потім на експелерах (остаточне вилучення). У результаті отримують макуху із залишковим вмістом олії не більше 5–6%.

Перед пресуванням м’ятка піддається вологотепловій обробці, яка знижує в’язкість олії та послаблює її зв’язок із твердими частинками. Це дозволяє підвищити вихід олії на 10–15%.

Екстракційний метод є більш ефективним і забезпечує вилучення до 98–99% олії. Він базується на розчиненні олії в органічних розчинниках, найчастіше використовується гексан із температурою кипіння 65–70°С. Екстракція може здійснюватися прямим способом або у поєднанні з попереднім пресуванням. У сучасних умовах найбільш поширеним є комбінований метод, який дозволяє досягти максимального вилучення олії.

Процес екстракції відбувається за принципом протиплину, коли розчинник рухається назустріч потоку сировини. У стрічкових екстракторах товщина шару матеріалу становить 0,8–1,4 м, а кількість ступенів екстракції може досягати 6–8. Це забезпечує поступове зниження концентрації олії у матеріалі до мінімальних значень.

Отримана після екстракції суміш (місцела) містить 20–30% олії. Для її розділення застосовується дистиляція, яка проводиться при температурі 105–110°С протягом 4–5 хвилин із використанням перегрітої водяної пари. Це дозволяє повністю видалити розчинник і забезпечити високу якість олії.

Знежирений залишок (шрот) після видалення розчинника містить не більше 1–2% олії і використовується як високобілковий корм. Вміст білка у шроті може досягати 35–45%.

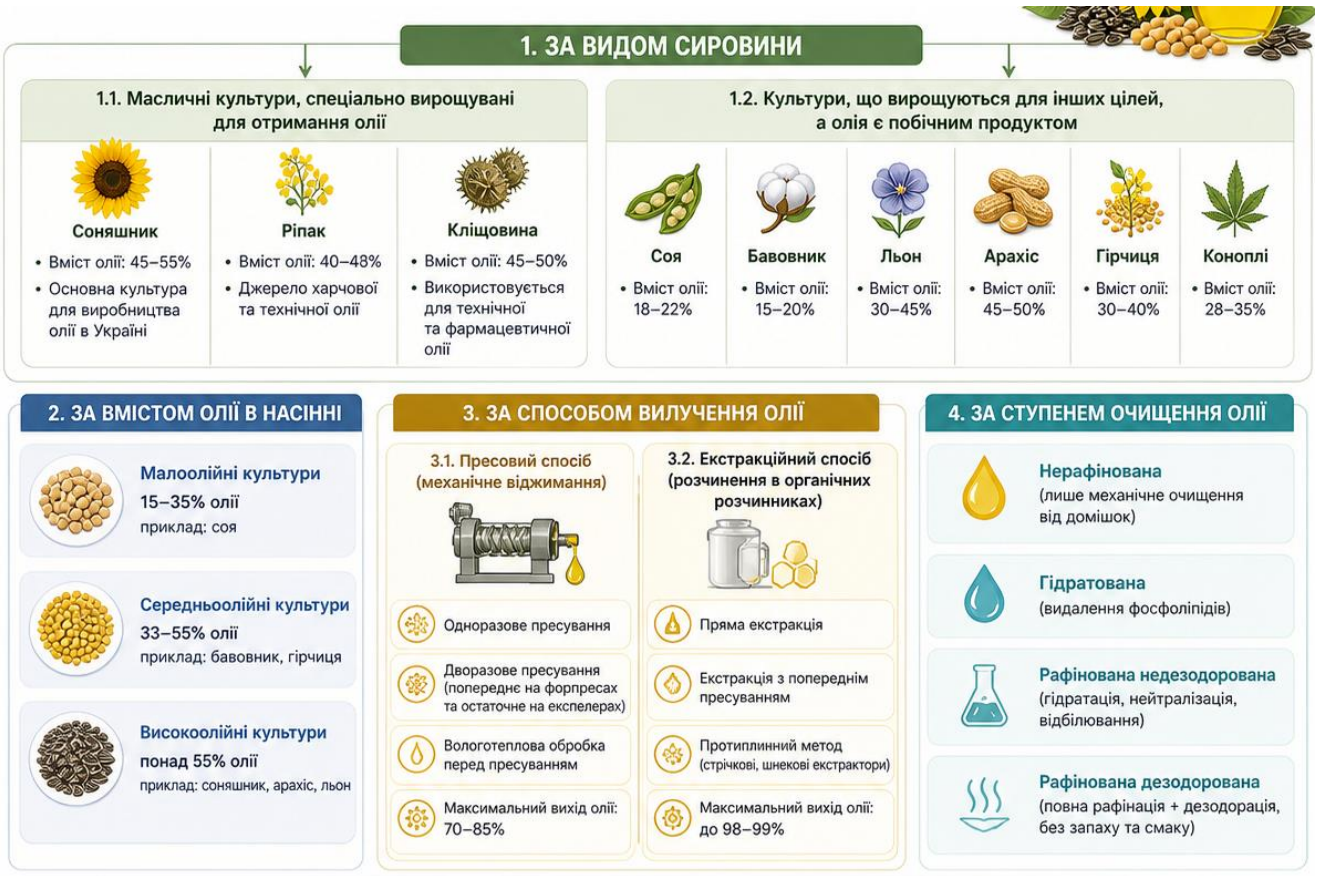

Рисунок 1.4 – Класифікація способів виробництва рослинної олії

Після вилучення олії проводиться її первинне очищення, яке включає відстоювання, фільтрацію та центрифугування. Це дозволяє видалити механічні домішки та запобігти окиснювальним процесам.

Завершальним етапом є рафінація, яка включає гідратацію, нейтралізацію, відбілювання та дезодорацію. У процесі рафінації видаляються фосфоліпіди (до 0,5–1%), вільні жирні кислоти, пігменти та інші домішки. В результаті отримують прозору олію без запаху та смаку.

Рафінована олія характеризується високою стабільністю та тривалим терміном зберігання (до 12 місяців), однак втрачає до 20–30% біологічно активних речовин. Нерафінована олія зберігає більше корисних компонентів, але має менший термін придатності (3–6 місяців).

Таким чином, сучасна технологія виробництва рослинної олії базується на поєднанні механічних, теплових і масообмінних процесів. Найбільш ефективним є комбінований метод пресування та екстракції, який забезпечує максимальний

вихід олії (до 98%) і високу якість кінцевого продукту. Подальший розвиток технологій спрямований на зниження енерговитрат, підвищення екологічної безпеки та збереження біологічної цінності продукції.

1.5 Використання рослинної олії в харчовій промисловості

Рослинні олії займають провідне місце серед харчових жирів і є незамінним компонентом у багатьох галузях харчової промисловості. Їх широке застосування обумовлене високою енергетичною цінністю (близько 880–900 ккал на 100 г), сприятливим жирнокислотним складом, наявністю біологічно активних речовин, а також технологічними властивостями, що забезпечують формування структури, смаку, аромату та консистенції готової продукції.

Однією з основних сфер використання рослинної олії є виробництво харчових продуктів масового споживання. У кулінарії та громадському харчуванні олії застосовуються для смаження, тушкування, запікання та заправки страв. Завдяки високому вмісту ненасичених жирних кислот (до 85–90%) рослинні олії легше засвоюються організмом порівняно з тваринними жирами, що робить їх важливим елементом раціонального харчування.

У хлібопекарській промисловості рослинні олії використовуються як структуроутворювачі та пластифікатори тіста. Додавання 2–5% олії до маси борошна покращує пластичність тіста, підвищує об’єм готових виробів і подовжує термін їх зберігання. Олія сприяє утворенню більш рівномірної пористої структури м’якуша та запобігає швидкому черствінню хліба.

У кондитерській галузі рослинні олії є складовою частиною кремів, начинок, глазурі, печива та інших виробів. Вони використовуються як альтернатива тваринним жирам і дозволяють регулювати текстуру продукції. Наприклад, у виробництві печива частка жиру може становити 10–30%, а в кремах — до 40%. Рослинні жири забезпечують ніжну консистенцію, стабільність структури та приємні органолептичні властивості.

Особливе місце рослинні олії займають у виробництві майонезів, соусів і емульсійних продуктів. У класичних рецептурах майонезу вміст олії становить 60–80%. Олія виступає дисперсною фазою, яка разом з емульгаторами (зокрема лецитином) утворює стабільну емульсію типу «олія у воді». Якість олії безпосередньо впливає на стабільність емульсії та термін зберігання продукту.

У молочній промисловості рослинні олії використовуються для виробництва комбінованих жирів, маргарину та спредів. Маргарин містить від 60 до 82% жиру, значна частка якого представлена рослинними оліями. Завдяки гідрогенізації або переетерифікації досягається необхідна консистенція та пластичність продукту. При цьому сучасні технології спрямовані на зниження вмісту трансжирів і підвищення біологічної цінності продукції.

У виробництві консервів рослинні олії використовуються як заливка для овочевих, рибних та м’ясних продуктів. Вони виконують функцію консерванта, обмежуючи доступ кисню та уповільнюючи процеси окиснення. Частка олії в таких продуктах може становити 10–30% залежно від рецептури.

Рослинні олії також широко застосовуються у виробництві снеків та продуктів швидкого харчування. При смаженні картопляних чипсів, сухариків та інших продуктів використовується фритюрна обробка при температурі 160–180°C. У таких умовах важливе значення має термостійкість олії, яка залежить від вмісту насичених і мононенасичених жирних кислот. Високоолеїнові олії є більш стійкими до окиснення і дозволяють збільшити кількість циклів використання фритюру.

У виробництві дієтичних та функціональних продуктів харчування рослинні олії відіграють роль джерела незамінних жирних кислот. Зокрема, використання олій, багатих на Омега-3 (лляна, ріпакова), сприяє створенню продуктів із підвищеною біологічною цінністю. Вміст функціональних компонентів у таких продуктах може становити 5–15%.

Важливим напрямом є використання рослинних олій як сировини для виробництва спеціалізованих харчових інгредієнтів, таких як емульгатори, жирозамінники та ароматичні композиції. Наприклад, фосфоліпіди, отримані з

олій, широко застосовуються у виробництві шоколаду, випічки та молочних продуктів.

Якість рослинної олії має вирішальне значення для її використання в харчовій промисловості. Основними показниками є кислотне число (не більше 0,6 мг КОН/г для рафінованих олій), перекисне число (до 10 ммоль O_2/кг), вміст вологи та летких речовин (не більше 0,1%). Дотримання цих показників забезпечує стабільність продукту та його безпечність для споживання.

Слід зазначити, що вибір виду олії залежить від технологічного призначення. Наприклад, для смаження використовують рафіновані дезодоровані олії з високою температурою димлення (200–230°C), тоді як для заправки салатів – нерафіновані олії з вираженим смаком і ароматом.

Таким чином, рослинні олії є універсальною сировиною для харчової промисловості, що забезпечує широкий спектр технологічних функцій. Їх застосування охоплює практично всі галузі виробництва харчових продуктів — від хлібопекарської та кондитерської до консервної та молочної. Подальший розвиток цього напряму пов’язаний із удосконаленням технологій переробки, підвищенням якості продукції та створенням нових видів функціональних харчових продуктів.

Висновки за розділом

Рослинні олії є одним із ключових компонентів харчової промисловості, що забезпечують не лише високу енергетичну цінність продуктів (880–900 ккал/100 г), але й виконують важливі технологічні функції – формування структури, консистенції, смаку та стабільності харчових виробів. Вони широко застосовуються у хлібопекарській, кондитерській, молочній, консервній галузях, а також у виробництві соусів, снеків і продуктів функціонального призначення.

Завдяки високому вмісту ненасичених жирних кислот (до 85–90%) рослинні олії мають значну біологічну цінність і сприяють покращенню якості харчування населення. Водночас ефективність їх використання визначається якісними показниками

(кислотне число ≤0,6 мг КОН/г, перекисне число ≤10 ммоль O_2/кг) та правильним вибором виду олії відповідно до технологічного призначення.

Таким чином, рослинні олії виступають універсальною та незамінною сировиною, а їх раціональне використання сприяє підвищенню якості харчових продуктів, розвитку харчової промисловості та забезпеченню здорового харчування населення, що підтверджує їх стратегічне значення для агропромислового комплексу України

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Технологія вилучення рослинних олій екстракцією розчинниками

Загальний огляд процесу. Екстракційне виробництво складається з трьох основних секцій. Першою, очевидно, є екстрактор, у якому шрот/макуха/гранули багаторазово контактують із розчинником для вилучення олії. З екстрактора безперервно виходять два потоки продукту. Перший – це суміш олії з розчинником, яка називається «місцела»; другий – знежирений матеріал, насичений розчинником, який називається «марк» або «відпрацьований шрот».

Місцела направляється до секції дистиляції, де розчинник випаровується шляхом нагрівання та миттєвого випаровування у вакуумі в декількох апаратах із поступовим підвищенням вакууму. Олія, очищена від розчинника, відкачується в резервуар для зберігання; цей продукт називається «сирою олією». «Марк» піддається десольвентації в багатоступеневому апараті, де кожна ступінь має підігрів знизу. Десольвентований шрот сушиться та/або охолоджується гарячим або холодним повітрям і направляється на фасування. Пари розчинника, що утворюються як у секції дистиляції, так і в десольвентері, конденсуються у водоохолоджуваних конденсаторах, після чого рідкий розчинник відокремлюється від конденсованої води та повертається в екстрактор (рис. 2.1).

Окрім трьох основних секцій, існує четвертий невеликий вузол для уловлювання парів розчинника з вентиляційного повітря – так званий абсорбційний або рекуперaційний блок.

Крім того, технологічна схема включає допоміжне обладнання, таке як газоочисники, конденсатори, сепаратори «вода–розчинник» та підігрівачі води; вони наведені у типовій схемі екстракційного виробництва (рис. 2.1).

Екстракція. Екстракція є центральним етапом екстракційного виробництва, оскільки саме тут відбувається вилучення олії. Водночас ефективність роботи екстрактора безпосередньо впливає на ефективність наступних стадій –

десольвентації та дистиляції. Тому екстрактор має бути правильно спроєктований і експлуатований для забезпечення високої продуктивності всього підприємства.

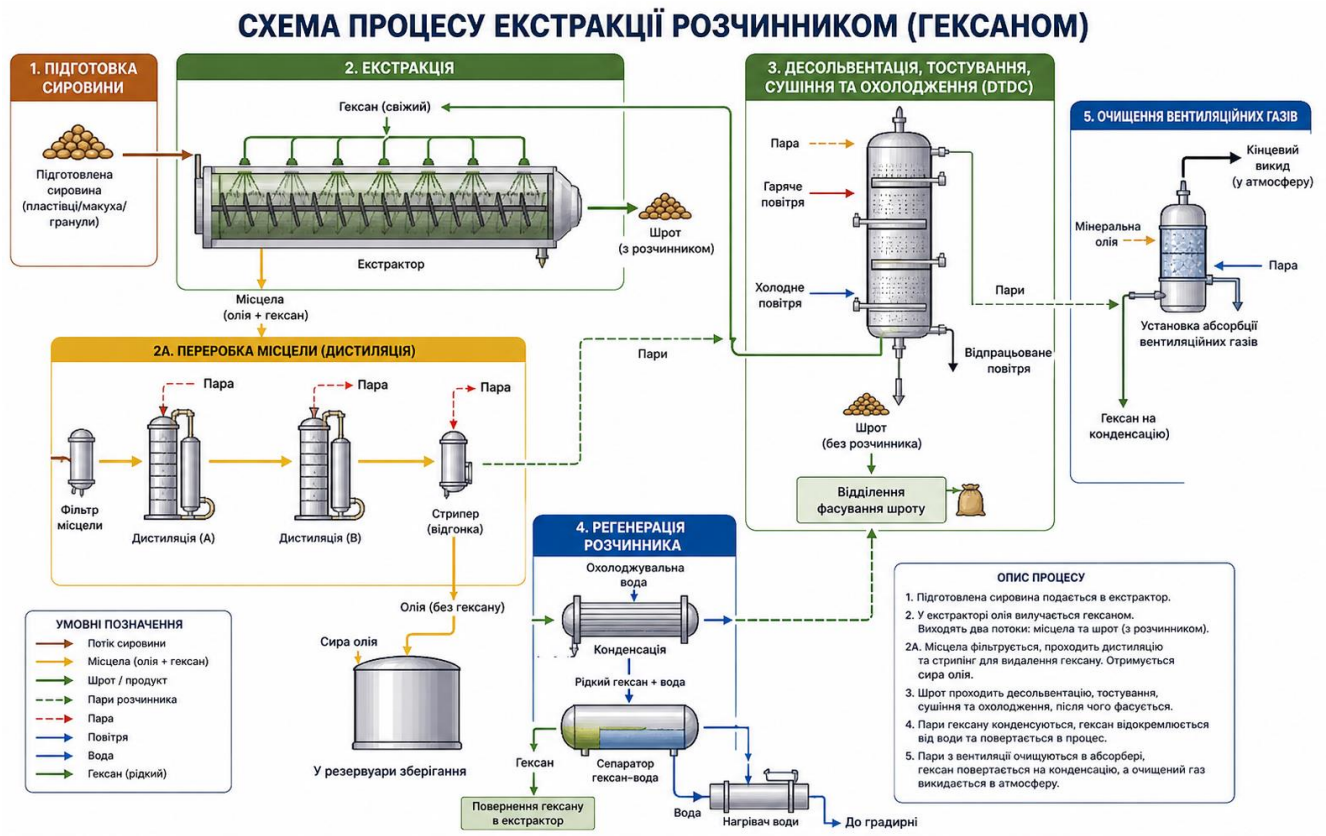

Рисунок 2.1 – Схема процесу екстракції розчинником (гексаном)

Типи екстракторів. У світовій практиці застосовуються три основні типи екстракторів:

– лінійний стрічковий (Linear, компанія DeSmet);

– роторний (Rotary, компанії Blaw-Knox, Rosedowns, Krupp-Extechnik, French/DeSmet);

– петльовий (Loop, компанія Crown).

Усі вони є перколяційними екстракторами з багатоступеневою протитечійною схемою. У першому типі рухається сито разом із шаром матеріалу. У двох інших сито нерухоме, а матеріал переміщується або вертикальними перегородками, або транспортером. Четвертий тип – комірковий (Sliding Cell) – використовується переважно в Європі, зокрема в Німеччині.

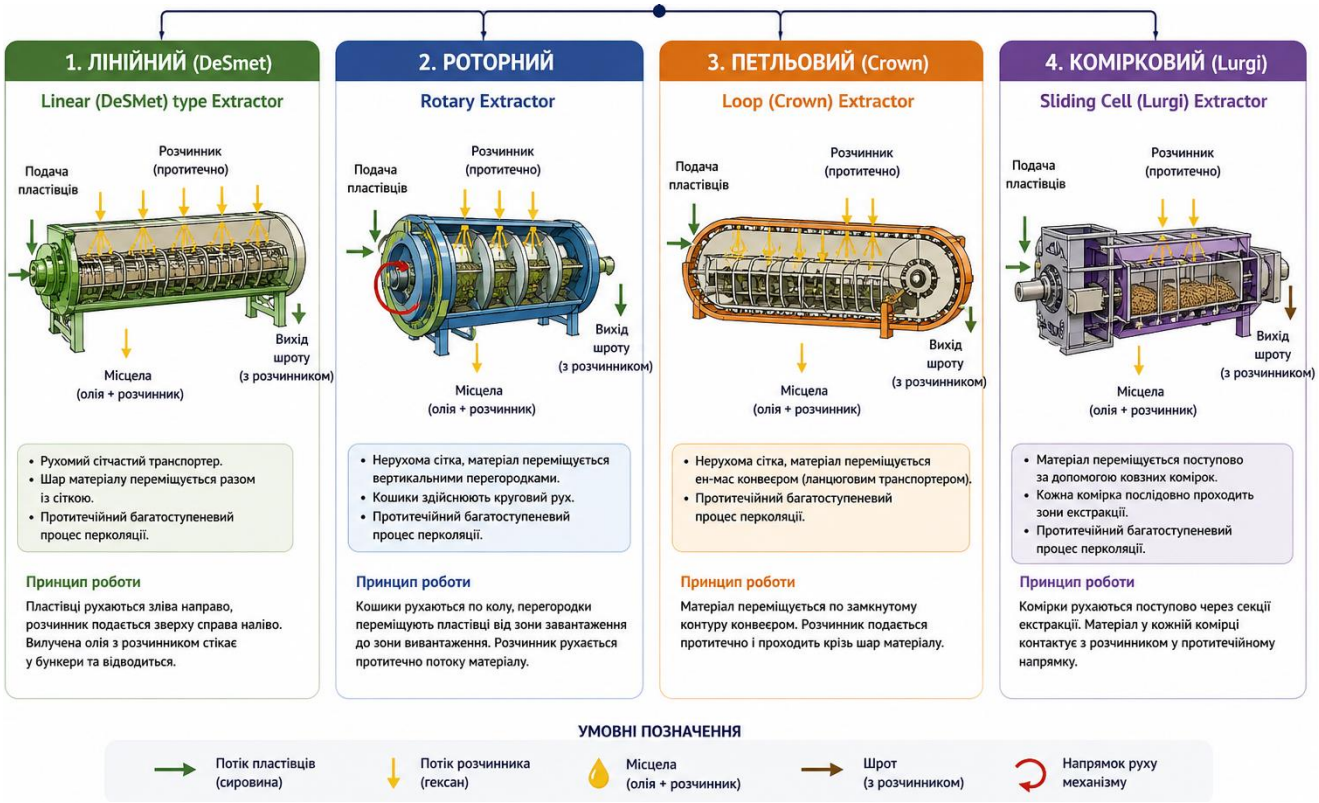

Рисунок 2.2 – Типи екстракторів

Рух шроту і розчинника. Шрот подаються на один кінець екстрактора, тоді як свіжий розчинник розпилюється зверху шару матеріалу ближче до виходу. Розчинник проходить через шар, здійснюючи остаточне промивання та вилучення залишкової олії, і збирається в бункері під шаром.

Насос забезпечує рециркуляцію розчинника, подаючи його знову на поверхню шару перед зоною подачі свіжого гексану. У міру надходження нових порцій розчинника він переливається в сусідні бункери, утворюючи потік, спрямований протилежно руху матеріалу.

Кожен бункер оснащений насосом, що подає місцелу на поверхню шару. У кожній наступній зоні концентрація олії в місцелі зростає. Найбільш концентрована місцела, що знаходиться біля зони подачі сировини, використовується для обробки свіжого шроту, які містять максимальну кількість олії. Завдяки цьому вже на початковій стадії вилучається значна частина олії – до 50% у більшості випадків.

Кількість ступенів екстракції. Кількість стадій зрошення залежить від властивостей сировини та продуктивності підприємства. Мінімальна кількість ступенів для ефективного використання принципу протитечії становить чотири. На практиці застосовують 5–9 ступенів, не враховуючи останнього зрошення чистим розчинником. Чим вища концентрація місцели на виході з екстрактора, тим менше навантаження на секцію дистиляції.

Залишковий вміст олії. Основним показником ефективності екстракції є вміст олії в останній стадії зрошення перед подачею свіжого розчинника, який не повинен перевищувати 0,2%. Перевищення цього значення свідчить про недостатню ефективність процесу.

Можливі випадки, коли концентрація місцели відповідає нормі, але залишковий вміст олії у шроті перевищує допустимий рівень. Це вказує на недостатню підготовку сировини. У таких випадках проводиться лабораторний аналіз (тест на дефекти подрібнення), після чого вживаються заходи щодо покращення підготовки матеріалу.

Концентрація місцели на виході. Концентрація місцели залежить від структури шроту. Якщо структура забезпечує високу проникність, концентрацію можна підтримувати на високому рівні за рахунок зменшення подачі розчинника. Для матеріалів із низькою проникністю (наприклад, макуха ши або гранули рисових висівок) необхідно збільшувати подачу розчинника, що призводить до зниження концентрації місцели та збільшення навантаження на дистиляцію.

Винос розчинника зі шротом. Кількість розчинника, що залишається у шроті на виході з екстрактора, залежить від багатьох факторів і визначає навантаження на десольвентер. Для зменшення цього показника необхідно забезпечити достатній час дренування, щоб максимальна кількість розчинника стекла у бункер.

Тривалість дренування залежить від типу сировини та якості її підготовки. Наприклад, шрот сої утримують більше розчинника та потребують більш тривалого дренування, ніж гранули. Матеріали з високою проникністю швидше втрачають розчинник і утримують його менше.

Також встановлено, що підвищена вологість шроту призводить до збільшення утримання розчинника. Тому підвищена вологість сировини на вході в екстрактор негативно впливає на ефективність роботи десольвентера.

Сито екстрактора. Сито, незалежно від того, є воно нерухомим чи рухомим, виготовляється з клиноподібних дротяних елементів. Така конструкція має властивість самоочищення завдяки конусоподібній формі дроту, що забезпечує збільшення зазору в напрямку до нижньої частини. У сучасних установках ці сита практично повністю замінили інші типи – дротяні сітки або сітки типу Hollander, які були поширені до початку XXI століття, особливо в лінійних екстракторах.

Однак у невеликих екстракторах лінійного типу з продуктивністю до 500 т/добу дротяні сітки все ще застосовуються, особливо в країнах Азії та Африки.

Дротяні сітки мають тенденцію швидко забиватися, особливо при переробці високобілкової сировини, такої як соя, ріпак і лущене насіння соняшнику. Тому необхідне встановлення ефективної системи промивання на зворотній ділянці руху сита після вивантаження відпрацьованого шроту. Це характерно насамперед для лінійних екстракторів.

Навіть клиноподібні сита потребують промивання, хоча засмічуються значно менше. Для екстракторів інших типів – роторних і петльових – ця вимога менш критична, оскільки сита очищуються в процесі руху матеріалу. Водночас останнім часом запатентовано систему очищення сит для петльових екстракторів із подачею розчинника знизу вгору.

Проміжні зони дренування. У роторних екстракторах між двома послідовними зонами промивання передбачена зона дренування. Це досягається шляхом розміщення форсунок таким чином, щоб над кожним другим сектором не подався розчинник.

У цих зонах більша частина розчинника стікає, що запобігає змішуванню з розчинником попередньої стадії під час наступного зрошення.

У лінійних екстракторах також існують менші зони дренування: скребкові механізми формують невеликі валики з шроту між сусідніми зонами, запобігаючи змішуванню місцели різної концентрації.

У лінійних і петльових екстракторах важливо регулювати подачу розчинника так, щоб на поверхні шару не утворювався його надлишок. Це необхідно для запобігання змішуванню потоків місцели різної концентрації, оскільки таке змішування знижує ефективність екстракції. Саме різниця концентрацій визначає потенціал екстракції і швидкість вилучення олії.

Поєднання принципів перколяції та занурення. Для оптимальної роботи екстрактора необхідно, щоб шар матеріалу в зоні екстракції був повністю насичений розчинником. Дослідження показали, що змочування шроту значно прискорює розчинення олії.

Це дозволяє поєднати механізми «занурення» і «перколяції», що забезпечує повний контакт розчинника з матеріалом. Це особливо важливо для сировини з високою проникністю, де розчинник може швидко проходити через шар, не взаємодіючи з усім матеріалом.

Один зі способів забезпечити насичення – створити шар розчинника над матеріалом (характерно для роторних екстракторів). Однак для лінійних і петльових екстракторів це неприйнятно, оскільки призводить до змішування місцели з різних зон.

Тому в цих типах екстракторів застосовують інший підхід – рівномірне розподілення розчинника по поверхні шару. Надмірна подача призводить до «затоплення», а недостатня – до неповного контакту. Оптимальний режим забезпечує ефективне поєднання обох механізмів.

Безпека екстрактора. Екстрактори повинні працювати з невеликим розрідженням (1–3 мм водяного стовпа), щоб запобігти витоку парів розчинника через фланці та люки. Надмірне розрідження призводить до підсмоктування повітря та перевантаження системи очищення газів.

На вході встановлюється шлюзовий затвор (роторний клапан), який запобігає витоку парів і мінімізує надходження повітря. Також може встановлюватися запобіжний клапан для запобігання підвищенню тиску.

Робота екстрактора. Подача сировини з підготовчого відділення зазвичай має певні коливання. Для забезпечення безперервної роботи екстрактора швидкість руху шару шроту автоматично регулюється.

Вивантаження відпрацьованого шроту також регулюється таким чином, щоб навантаження на наступне обладнання (десольвентер-тостер) залишалося стабільним.

Потенціал екстракції. Потенціал екстракції в будь-якій точці екстрактора можна розглядати як різницю між швидкістю дифузії олії з шроту (або гранул/макухи) та «дефіцитом розчинності» місцели, що контактує з матеріалом. Під дефіцитом розчинності розуміють різницю між розчинністю олії в чистому розчиннику та в місцелі. Це можна записати у вигляді:

Потенціал екстракції = дифузія олії з шроту − дефіцит розчинності,

дефіцит розчинності = розчинність у свіжому розчиннику − розчинність у місцелі.

Оскільки розчинність олії в місцелі до концентрації приблизно 20% майже не відрізняється від розчинності в чистому розчиннику (Coats і Karnofsky, 1950), дефіцит розчинності є дуже малим у кінцевій частині екстрактора і має значення лише для концентрованої місцели біля зони подачі сировини.

У протитечійному процесі концентрована місцела контактує зі свіжим шротом, які мають високий вміст олії та, відповідно, високу дифузійну здатність. Тому потенціал екстракції залишається високим. У міру зменшення вмісту олії в матеріалі знижується і швидкість дифузії, але матеріал контактує з менш концентрованою місцелою, для якої дефіцит розчинності є незначним, що дозволяє підтримувати високий потенціал екстракції.

На виході з екстрактора, де вміст олії дуже низький і дифузія мінімальна, матеріал контактує зі свіжим розчинником (дефіцит розчинності дорівнює нулю), що забезпечує додатний потенціал екстракції.

Таким чином, протитечійний екстрактор дозволяє досягти максимально швидкого вилучення олії та дуже низького залишкового вмісту олії (ROC). На відміну від цього, при прямотечійному процесі потенціал екстракції різко знижується до нуля ще до досягнення низьких значень ROC.

Вплив товщини шроту і температури. Товщина шроту є одним із ключових параметрів, що визначає якість подрібнення та кінцевий залишковий вміст олії після екстракції. Тонший шрот екстрагуються значно швидше і забезпечують нижчий ROC порівняно з товстішими.

Залежність часу екстракції від товщини шроту описується співвідношенням:

$$Y_a / Y_\beta = (X_\beta / X_a)^{2.2}$$

де Y_a – час досягнення заданого ROC для шроту товщиною X_a; Y_β – час для шроту товщиною X_β.

При цьому важливо враховувати не лише товщину шроту, а й ступінь деформації (DoD), тобто різницю між товщиною крупки та шроту. Наведена залежність справедлива лише для матеріалу з однаковим ступенем деформації.

Також встановлено, що навіть при однаковій товщині шроту різних культур екстрагуються по-різному: соя – найшвидше, потім бавовник, а найгірше – льон.

Водночас надмірне зменшення товщини (менше 0,25 мм) призводить до ущільнення шару в екстракторі та погіршення проходження розчинника. Тому оптимальна товщина становить 0,28–0,30 мм.

Температура також суттєво впливає на швидкість екстракції. Встановлено, що:

$$Y_a / Y_\beta \approx (T_\beta / T_a)^{1.5}$$

де T_a і T_β – температури процесу (°C).

Зі зростанням температури швидкість екстракції підвищується.

2.2 Десольвентація відпрацьованого шроту

Відпрацьований шрот після перколяційних екстракторів містять 25–33% розчинника у вологому стані, що відповідає 33–50% у перерахунку на суху

речовину. Увесь розчинник необхідно повністю видалити, а його залишковий вміст у шроті довести до слідових кількостей. Якщо раніше допустимий рівень залишкового розчинника становив близько 500 ppm, то сьогодні споживачі вимагають значно нижчих значень – 100–200 ppm.

Десольвентований соєвий шрот може використовуватися як корм для тварин або як харчовий продукт. Інші види шротів наразі застосовуються переважно лише як корм.

Хоча екстрактор є основним апаратом установки, десольвентер є найбільш критичним з точки зору експлуатації, оскільки саме він споживає найбільшу кількість пари та електроенергії, а також може бути основним джерелом втрат розчинника. Тому десольвентер оснащується складними системами автоматичного керування і потребує постійної уваги оператора.

Основним методом десольвентації є поєднання непрямого нагрівання парою та прямого введення пари для випаровування розчинника. Згодом було встановлено, що інтенсивніше використання пари, особливо для обробки соєвого шроту, є більш ефективним.

Соєвий шрот перед використанням у кормах необхідно піддавати «тостуванню» – термічній обробці, яка інактивує ферменти, що знижують засвоюваність білків. Раніше цей процес здійснювався окремо, але з 1950-х років його об’єднали з десольвентацією в одному апараті шляхом регулювання вологості за рахунок подачі пари. Так з’явився апарат десольвентер-тостер (DT), який використовується і сьогодні навіть для культур, що не потребують тостування.

У перші десятиліття застосовувалися горизонтальні лопатеві сушарки з паровими кожухами. Пізніше до них додали парові камери для остаточного видалення розчинника.

Їх замінили вертикальні багатоступеневі десольвентери, в яких нагрівання здійснюється через подвійні днища, а матеріал переміщується між ступенями за допомогою лопатей. Розвантаження здійснюється через герметичний затвор.

Компанія French Oil запатентувала технологію поєднання десольвентації та тостування в одному апараті шляхом подачі пари – це і стало основою сучасних DT.

З’явилася модернізована конструкція Schumacher DT із перфорованими подвійними днищами, що значно покращило контакт пари з матеріалом, скоротило тривалість процесу та дозволило досягти дуже низького вмісту залишкового розчинника.

На відміну від дистиляції, десольвентація здійснюється переважно при атмосферному тиску. Це пов’язано з тим, що зв’язок розчинника з шротом слабший, ніж з олією, а також із труднощами забезпечення герметичності апарата під вакуумом. У сучасних установках останній ступінь іноді працює під невеликим вакуумом для зменшення втрат розчинника та часткового видалення вологи.

Тривалість десольвентації для різних культур визначається експериментально. Теоретично вона може бути розрахована на основі коефіцієнтів дифузії та законів масопереносу.

Гази, що утворюються в DT, мають високий тепловий потенціал і використовуються для випаровування розчинника з місцели. Перед використанням їх очищають від твердих частинок у скруберах або циклонах.

Шрот після десольвентації може містити підвищену вологість (до 17% для сої), тому його сушать гарячим повітрям, а потім охолоджують. Якщо сушильна та охолоджувальна секції інтегровані в апарат, він називається DTDC (десольвентація–тостування–сушіння–охолодження).

У сучасних установках DTDC застосовуються автоматизовані системи керування, що забезпечують:

– підтримання рівня матеріалу на кожному ступені;

– оптимальний час обробки;

– ефективний контакт із парою;

– контроль температури шроту та газів.

Таким чином, десольвентація є одним із найважливіших етапів технології, що визначає якість кінцевого продукту, енергоефективність процесу та рівень втрат розчинника.

2.3 Дистиляція місцели

Дистиляція для відокремлення розчинника від олії здійснюється повністю у вакуумі. На відміну від десольвентера (DT), цей процес проводиться в декількох апаратах, кожен із яких виконує окрему функцію. Проведення процесу при атмосферному тиску неможливе через високу спорідненість олії до розчинника. Ця спорідненість значно більша, ніж між шротом і розчинником. Висока спорідненість означає, що розділення при атмосферному тиску потребувало б дуже високих температур, що призвело б до погіршення якості олії.

Основна частина дистиляції здійснюється шляхом непрямого нагрівання. Однак для видалення останньої частини розчинника цього недостатньо. При дуже низьких концентраціях розчинника сили взаємодії з олією значно зростають, і леткість розчинника різко зменшується. Леткість визначається тиском насиченої пари. Наприклад, для н-гексану при концентрації 0,1% (99,9% олії) і температурі 90°C тиск пари становить лише близько 6 Торр (≈9 мбар), тоді як для чистого гексану при тій же температурі – близько 1400 Торр.

Отже, для випаровування розчинника з концентрацією 0,1% тільки за рахунок нагрівання необхідно створити вакуум на рівні 6 Торр абсолютного тиску. Якщо ж потрібно досягти залишкового вмісту 200 ppm (0,02%), то тиск пари становитиме приблизно 1,2 Торр. Це надзвичайно глибокий вакуум, створення якого потребує значних енергетичних витрат.

Значно дешевшим способом є введення інертного газу, який не реагує ні з олією, ні з розчинником, для створення додаткового тиску. У цьому випадку сумарний тиск пари розчинника та газу дорівнює тиску системи, наприклад 50 Торр (що відповідає вакууму 710 Торр на рівні моря). Енергетичні витрати для підтримання такого вакууму значно менші.

У промисловості таким інертним газом є водяна пара. Саме тому для видалення залишкового розчинника використовується подача пари – процес, який називається парова відгонка (стріпінг), а апарат – стрипер. Стрипінг може здійснюватися у кілька стадій для оптимізації витрат пари та зменшення навантаження на конденсацію. Зазвичай дистиляційна лінія включає кілька апаратів непрямого нагрівання та одну або декілька колон стрипінгу.

Початковий етап дистиляції – випаровування за рахунок непрямого нагрівання – зазвичай проходить у дві стадії. Перша стадія використовує тепло гарячих газів із десольвентера (DT), які складаються переважно з парів розчинника з невеликою кількістю водяної пари. У цій стадії випаровується 60–90% розчинника залежно від сировини та температури газів. Оскільки пара не використовується, цей апарат називається економайзером. Завдяки цьому значна частина розчинника видаляється без витрат пари, що знижує загальні енергетичні витрати процесу.

Друга стадія – випарник – використовує пару як теплоносій і забезпечує видалення більшої частини залишкового розчинника, залишаючи приблизно 2% для подальшого видалення методом стрипінгу.

Тиск пари розчинників при різних температурах добре досліджений. Дані про залежність тиску пари від концентрації розчинника в місцелі можна отримати розрахунковими або експериментальними методами, причому лабораторні дослідження дають більш точні результати.

На основі цих даних можна розрахувати всі стадії дистиляції:

– витрати пари на нагрівання;

– витрати пари на стрипінг;

– навантаження на вакуумну систему.

Перед початком дистиляції проводиться фільтрація місцели для видалення механічних домішок, які можуть осідати в теплообмінниках або на поверхнях стрипера. Ці домішки, особливо білкові, при нагріванні підгорають і погіршують колір олії. Найчастіше для очищення застосовують гідроциклон, а також клиноподібні фільтри, здатні затримувати частинки розміром понад 30 мкм.

Рисунок 2.3 – Технологічна схема дистиляційної секції

Пари розчинника, що утворюються у випарниках і стрипері, конденсуються шляхом непрямого охолодження водою. Зазвичай використовують кожухотрубні конденсатори, хоча останнім часом почали застосовувати пластинчасті теплообмінники. Вони компактні, але складні в обслуговуванні, тому їх використання поки що обмежене.

Вакуум у системі підтримується за допомогою парових ежекторів. За умови стабільного тиску та якості пари (>98% сухості) вони ефективно забезпечують необхідний рівень вакууму. Перевагою є їх надійність і відсутність потреби в обслуговуванні.

Конденсований розчинник містить певну кількість води, яка потрапляє з парою. Перед повторним використанням необхідно відокремити воду. Оскільки гексан не змішується з водою, це здійснюється простим відстоюванням (декантацією).

Додатково може застосовуватись система утилізації тепла. Пари після економайзера мають температуру близько 62°C і можуть використовуватись для попереднього підігріву розчинника перед подачею в екстрактор. Це дозволяє економити до 10–15 кг пари на тонну сої, що є суттєвим енергетичним ефектом.

2.4 Рекуперація розчинника з вентиляційного повітря

Як зазначалося раніше, окрім трьох основних секцій екстракційної установки, існує четверта, хоча й відносно невелика. Її завдання полягає у вилученні (рекуперації) розчинника з вентиляційного повітря.

Повітря надходить переважно з двох джерел. Перше — це підсмоктування через фланцеві з'єднання обладнання. Таке проникнення повітря відбувається тому, що апарати працюють під невеликим розрідженням (негативним тиском), яке необхідне для запобігання виходу парів розчинника назовні. У результаті вентиляції обладнання (насамперед екстрактора та десольвентера) повітря, що виводиться через вентиляційні системи, містить пари розчинника.

Другим джерелом є повітря, яке міститься в порах між частинками матеріалу (пластівцями), що подаються в екстрактор. Обсяг цього повітря можна значно зменшити шляхом використання герметичного роторного затвора (airlock) на вході в екстрактор.

Вміст парів розчинника в повітрі залежить від температури повітря, яка, у свою чергу, визначається температурою конденсації в апаратах, що обробляють гази десольвентера (DT).

Для вилучення розчинника застосовують процес абсорбції: повітря контактує з оливою (мінеральною), що розпилюється і проходить через насадкову колону. У результаті більша частина парів розчинника поглинається. Системи абсорбції проєктуються таким чином, щоб знизити вміст розчинника у вентиляційному повітрі до рівня 50 г/м³ або менше. У сучасних установках цей показник становить уже 10–20 г/м³.

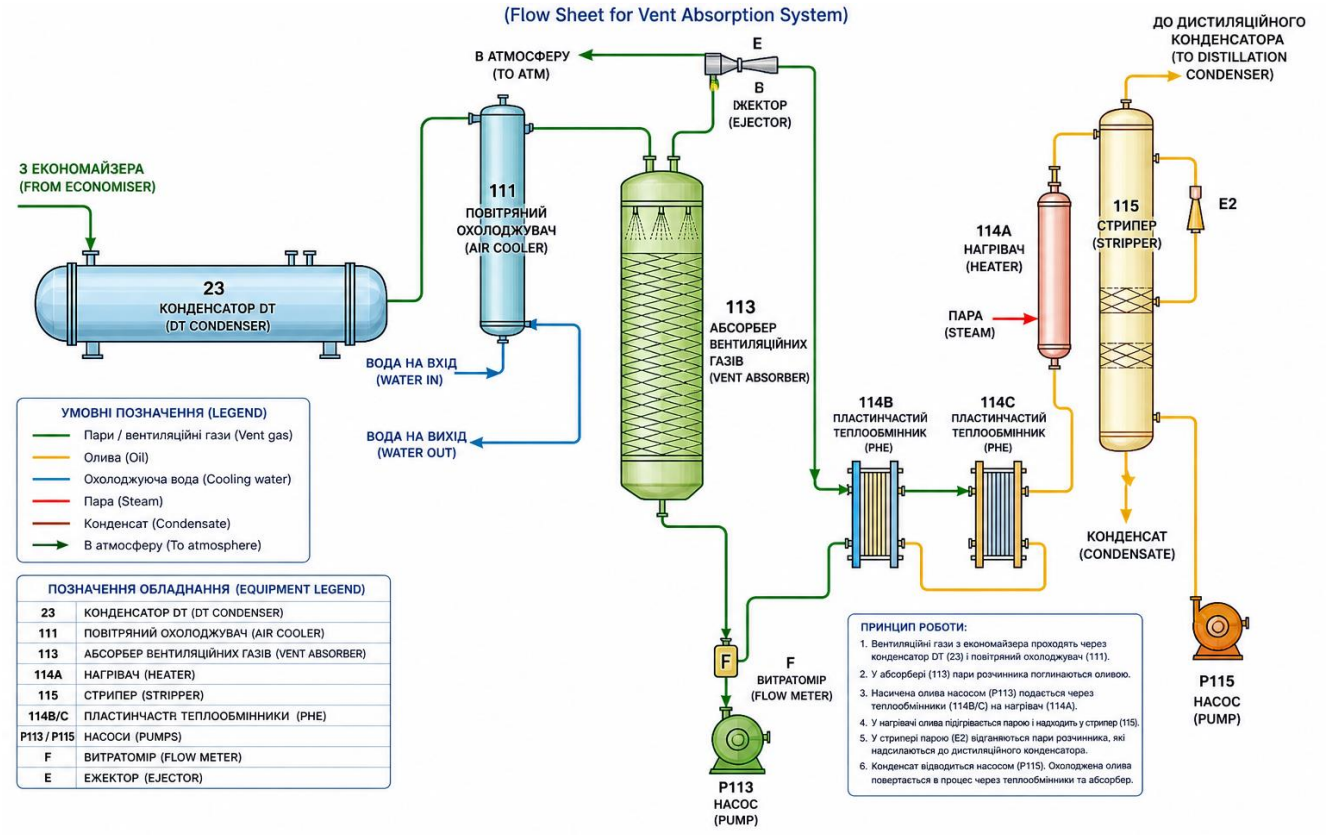

Рисунок 2.4 – Технологічна схема системи абсорбції вентиляційних газів

Абсорбер зазвичай являє собою високу колону з кількома ступенями контакту повітря та оливи, обладнану насадкою для підвищення ефективності масообміну.

Олива, насичена розчинником, нагрівається і піддається паровій відгонці (стрипінгу), у результаті чого розчинник випаровується та направляється на конденсацію. Очищена (збіднена) олива охолоджується і повертається в абсорбер для повторного використання.

Для підвищення енергоефективності між гарячою та холодною оливою застосовується теплообмінник типу «олія–олія», що дозволяє одночасно підігрівати холодну оливу та частково охолоджувати гарячу. Це зменшує витрати пари та габарити охолоджувального обладнання.

Як абсорбент використовують мінеральну оливу. Рослинні олії для цього не підходять, оскільки містять фракції з нижчими температурами кипіння, які можуть випаровуватись, а також схильні до полімеризації при багаторазових циклах нагрівання та охолодження.

Методи розрахунку абсорберів описані в науковій літературі. Для цього необхідні дані про тиск пари розчинника в повітрі та в оливі. Якщо перші доступні з довідників, то другі слід визначати експериментально в лабораторних умовах.

Висновки за розділом

Екстракційна технологія виробництва рослинних олій є одним із найефективніших способів глибокого вилучення олії, що забезпечує високий вихід продукту та мінімальний вміст жиру в шроті. Технологічний процес охоплює підготовку сировини, екстракцію, десольвентацію, дистиляцію та рекуперацію розчинника, які функціонують як єдина узгоджена система.

Ефективність процесу значною мірою визначається раціональним проєктуванням технологічної лінії. Важливим є правильний вибір типу екстрактора (лінійний, роторний, петльовий), забезпечення протитечійного руху фаз, оптимальна кількість ступенів зрошення та узгодження продуктивності всіх апаратів. Конструктивні параметри обладнання мають забезпечувати рівномірний рух матеріалу, ефективний масообмін і мінімальні втрати розчинника.

Проєктування лінії повинно передбачати теплову інтеграцію процесів (використання тепла газів десольвентації, економайзерів), оптимальні режими дистиляції у вакуумі та ефективну роботу систем конденсації і розділення фаз. Важливим є також забезпечення безперервності процесу, автоматичного регулювання подачі сировини та стабільного навантаження на обладнання.

Отже, сучасна екстракційна лінія є складною інженерною системою, ефективність якої визначається не лише технологічними режимами, а передусім якістю її проєктування, узгодженістю роботи всіх вузлів та рівнем енергоефективності.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Вихідні дані для проєктування

Для інженерного проєктування екстракційної технології вилучення рослинних олій із використанням органічних розчинників як вихідну основу приймають математичний опис процесу, що базується на моделі перколяційного екстрактора. Зазначена модель дозволяє здійснювати прогнозування основних технологічних параметрів процесу, зокрема тривалості екстракції до досягнення заданого залишкового вмісту олії в шроті (Residual Oil Content, ROC), зміни цього показника на різних стадіях процесу, а також динаміки концентрації місцели в апараті. У проєктних розрахунках ця модель використовується як базова інженерна залежність для визначення розмірів екстрактора, часу перебування матеріалу, кількості ступенів зрошення та витрати розчинника.

Основними вихідними параметрами для застосування математичної моделі є фізико-хімічні та структурні характеристики сировини і розчинника, а також результати лабораторних досліджень. До них належать початковий вміст олії в сировині, допустимий кінцевий залишковий вміст олії в шроті, товщина та структура частинок (пластівців), їх пористість і ступінь деформації, температура процесу, а також властивості розчинника (щільність, в’язкість, коефіцієнти дифузії та розчинності). Важливими є також експериментальні залежності типу «залишковий вміст олії – час» і «концентрація місцели – час», отримані в лабораторних умовах для матеріалу заданої підготовки. Саме ці залежності дозволяють коректно описати кінетику процесу та забезпечити достовірність розрахунків.

При проєктуванні приймається, що процес екстракції є багатостадійним і протікає за комбінованим механізмом. На початковій стадії вилучення олії відбувається переважно за рахунок розчинення вільної олії, яка знаходиться на поверхні частинок. На наступних стадіях зростає роль внутрішньої дифузії, коли олія переміщується з внутрішніх шарів матеріалу до поверхні. У зв’язку з цим

швидкість процесу поступово зменшується зі зниженням концентрації олії, що необхідно враховувати при визначенні довжини екстрактора та часу перебування матеріалу. Таким чином, швидкість екстракції визначається кількістю нерозчиненої олії та дифузійними процесами, які стають визначальними на кінцевих стадіях.

У розрахунках також враховується, що математична модель має певні обмеження і, як правило, дещо занижує реальний час екстракції. Тому при проєктуванні вводиться коефіцієнт запасу, який зазвичай становить 1,1–1,3. Це дозволяє забезпечити стабільність роботи установки та досягнення заданих технологічних показників навіть при коливаннях властивостей сировини.

Для визначення режимів роботи екстракційної установки приймаються типові технологічні параметри: процес здійснюється за протитечійною схемою, кількість ступенів зрошення становить 5–9, температура процесу знаходиться в межах 50–65 °C, товщина пластівців – 0,28–0,30 мм, співвідношення розчинника до сировини – 1,0–1,2:1, а тривалість процесу – 45–90 хвилин залежно від виду сировини та її підготовки. Кінцевий залишковий вміст олії в шроті приймається на рівні 0,5–1,0%, що відповідає сучасним вимогам до ефективності виробництва.

Окрім безперервних процесів, у деяких випадках при проєктуванні можуть розглядатися і періодичні (batch) екстракційні установки. Вони застосовуються для переробки невеликих обсягів сировини, рідкісних культур або виробництва спеціалізованих продуктів, таких як білкові концентрати. Для таких систем характерні інші вихідні параметри: маса завантаження апарата становить 100–2000 кг, тривалість одного циклу – 2–6 годин, співвідношення розчинника до сировини – 1,5–3,0:1, а температура процесу – 40–60 °C. При цьому необхідно враховувати циклічний характер роботи, підвищену витрату розчинника та меншу продуктивність у порівнянні з безперервними лініями.

Таким чином, сукупність наведених вихідних даних формує основу для інженерного проєктування екстракційних установок. Використання математичних моделей у поєднанні з експериментальними залежностями дозволяє обґрунтовано

визначити конструктивні параметри обладнання, оптимальні режими роботи та забезпечити високу ефективність процесу вилучення рослинних олій.

3.2 Розрахунок екстракційної технології отримання рослинних олій

У сучасних умовах розвитку олійно-жирової промисловості екстракційна технологія переробки насіння соняшнику є найбільш ефективною з точки зору повноти вилучення олії, енергоефективності та якості кінцевої продукції. Для проєктування технологічної лінії необхідно виконати детальний матеріальний і тепловий баланс, що дозволяє обґрунтувати вибір обладнання, визначити продуктивність апаратів і оцінити економічну доцільність виробництва.

У якості вихідних даних для розрахунку приймається продуктивність підприємства 1000 кг/год насіння соняшнику. Середній хімічний склад насіння становить: вміст олії – 50%, білка – 18%, клітковини – 16%, вологи – 8%. Для підвищення ефективності переробки передбачається попереднє лущення насіння, що дозволяє зменшити вміст оболонки та підвищити концентрацію олії в ядрі.

Після очищення і лущення насіння утворюються два потоки: ядро та лушпиння. Приймаємо, що масова частка оболонки становить 20%, тобто з 1000 кг насіння отримуємо 800 кг ядра і 200 кг лушпиння. Вміст олії в ядрі становить близько 60%, а в лушпинні – не більше 1%. Таким чином, основна кількість олії зосереджена в ядрі, що визначає доцільність його подальшої переробки.

На наступному етапі ядро піддається подрібненню та плющенню з утворенням пластівців товщиною 0,3 мм, що є оптимальним для ефективної екстракції. Перед екстракцією можливе попереднє пресування, яке дозволяє вилучити частину олії механічним способом та знизити навантаження на екстракційний апарат.

Приймаємо, що після пресування вміст олії в макусі становить 18%. Тоді маса макухи визначається з рівняння матеріального балансу:

Кількість олії в ядрі: $800 \times 0{,}60 = 480$ кг

Олія, що залишається в макусі: $М_{мак} \times 0{,}18$.

Звідси:

$$Ммак = 800 \times (1 – 0,60) / (1 – 0,18) \approx 390 \text{ кг}.$$

Олія, отримана пресуванням:

$$480 – (390 \times 0,18) = 480 – 70,2 = 409,8 \text{ кг}.$$

Таким чином, на стадії пресування отримується близько 410 кг олії, а макуха масою 390 кг надходить на екстракцію.

На стадії екстракції макуха обробляється органічним розчинником (гексаном). Приймається, що залишковий вміст олії у шроті після екстракції становить 1%. Тоді:

– олія в шроті: $390 \times 0,01 = 3,9$ кг;

– кількість екстрагованої олії: $70,2 – 3,9 = 66,3$ кг;

– маса шроту: $390 – 66,3 = 323,7$ кг;

– загальний вихід олії: $409,8 + 66,3 = 476,1$ кг;

– коефіцієнт вилучення олії: $476,1 / 480 \approx 99,2\%$.

Це свідчить про високу ефективність комбінованої технології.

Наступним етапом є десольвентація шроту. У процесі екстракції шрот містить до 30% розчинника, який необхідно видалити. Після десольвентації вміст розчинника знижується до рівня менше 200 ppm. Одночасно відбувається сушіння і охолодження шроту. Вологість шроту після обробки становить близько 10–12%, а температура знижується до 40–50°C.

Дистиляція місцели є ключовим етапом процесу. Місцела, що надходить з екстрактора, містить 25–30% олії та 70–75% розчинника. На першій стадії (економайзер) випаровується до 70% розчинника за рахунок використання вторинного тепла. На другій стадії (випарник) видаляється ще 25–28% розчинника з використанням пари. Завершальна стадія – стрипінг – дозволяє видалити залишки розчинника до мінімального рівня.

Витрата розчинника визначається із співвідношення 1–1,2 кг на 1 кг сировини. Для даного проєкту:

$$G_s = 1,1 \times 1000 = 1100 \text{ кг/год}.$$

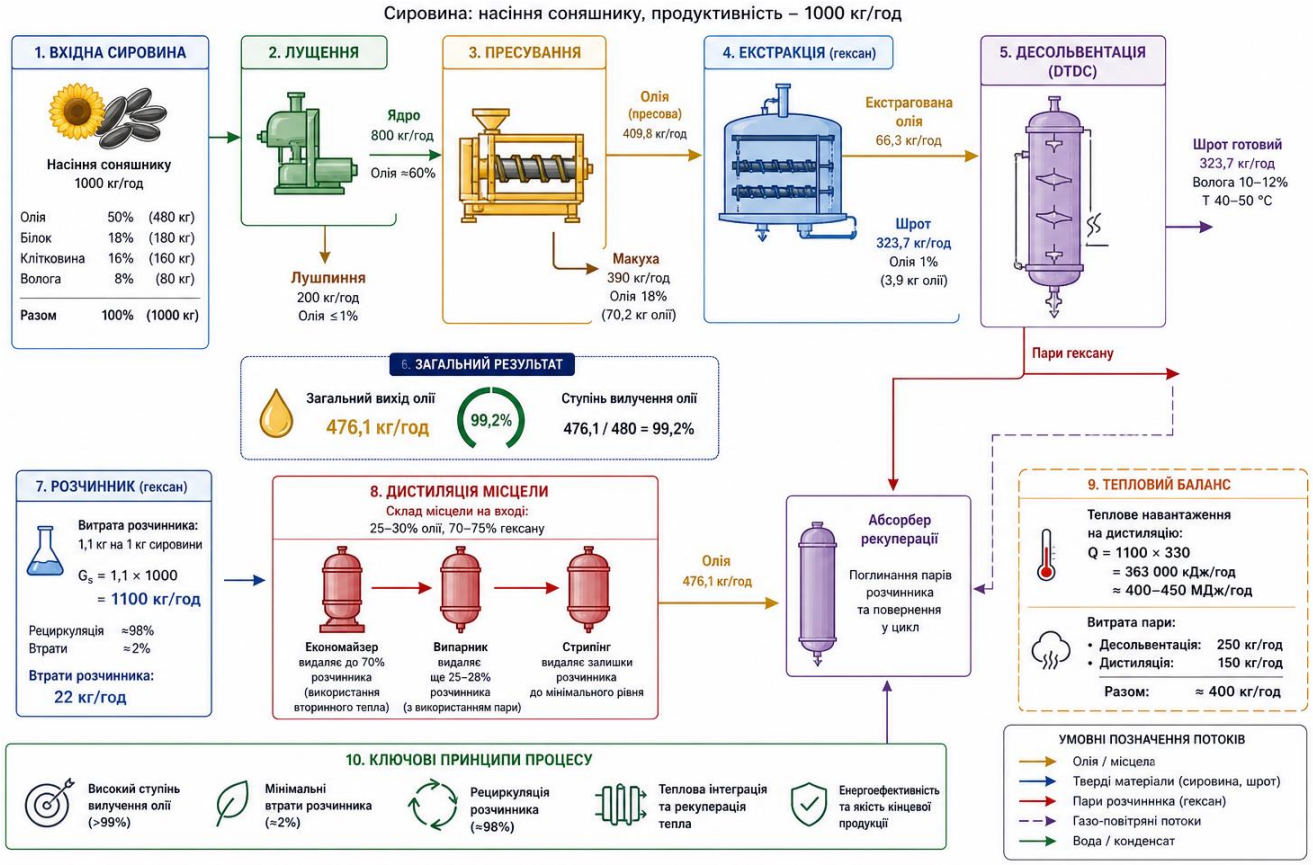

Рисунок 3.1 – Розрахунок екстракційної технології отримання рослинних олій

При цьому близько 98% розчинника повертається в процес, а втрати становлять приблизно 2% або 22 кг/год.

Тепловий баланс процесу визначається витратами енергії на випаровування розчинника та нагрівання матеріалу. Питома теплота випаровування гексану становить близько 330 кДж/кг. Тоді теплове навантаження на дистиляцію:

$$Q = 1100 \times 330 = 363\,000 \text{ кДж/год}$$

З урахуванням втрат і додаткових витрат тепла загальне теплове навантаження становить близько 400–450 МДж/год.

Для десольвентації шроту витрата пари становить приблизно 250 кг/т сировини, тобто:

$$G_п = 0{,}25 \times 1000 = 250 \text{ кг/год}$$

Для дистиляції додатково необхідно близько 150 кг/год пари.

Таким чином, загальне споживання пари становить близько 400 кг/год.

Проєктування екстракційної лінії передбачає узгодження роботи всіх апаратів. Екстрактор повинен забезпечувати рівномірний рух матеріалу та ефективний контакт із розчинником. Десольвентер – стабільне видалення розчинника та контроль вологості. Дистиляційна система – ефективне розділення фаз при мінімальних енергетичних витратах.

Особливу увагу приділяють тепловій інтеграції процесу. Використання тепла газів десольвентації в економайзері дозволяє значно знизити витрати пари. Додатково застосовуються теплообмінники для рекуперації тепла між потоками.

Отримані результати розрахунку підтверджують, що екстракційна технологія дозволяє досягти високого ступеня вилучення олії (понад 99%) при раціональному використанні енергії та мінімальних втратах розчинника. Комбінована схема «пресування + екстракція» є найбільш ефективною для переробки соняшнику.

Отже, проєктована технологічна лінія є технічно обґрунтованою, енергоефективною та відповідає сучасним вимогам виробництва рослинних олій.

3.3 Типове планування екстракційного заводу з використанням розчинників

Екстракційне виробництво рослинних олій є складною інженерною системою, яка складається з двох основних частин: підготовчого відділення (олійниці або секції підготовки сировини) та власне екстракційного цеху. Підготовче відділення призначене для попередньої обробки насіння – очищення, лущення, подрібнення та формування пластівців, що забезпечує оптимальні умови для подальшого вилучення олії. Екстракційна частина включає основні технологічні вузли: екстрактор, десольвентер-тостер-сушарку-охолоджувач (DTDC), дистиляційну установку та систему рекуперації розчинника.

Планування екстракційного заводу визначається насамперед його продуктивністю, типом сировини та обраною технологічною схемою. Типове компонування підприємства передбачає багаторівневу будівлю, у якій технологічне обладнання розміщується з урахуванням гравітаційного

переміщення матеріалів, що дозволяє зменшити енергоспоживання та спростити транспортування.

Як приклад розглядається планування екстракційного заводу продуктивністю 600 т/добу по соняшнику. Габарити будівлі становлять приблизно 30 × 12 м при висоті близько 15 м. Основний робочий рівень розташовується на висоті близько 6 м і є центральною платформою для розміщення ключового технологічного обладнання. Для підприємств більшої продуктивності схема планування зберігається аналогічною, але застосовується обладнання більшої потужності та габаритів.

У випадку використання лінійного екстрактора він, як правило, розташовується з одного боку будівлі, тоді як інші основні агрегати – десольвентер (DTDC), випарники, стрипери та допоміжне обладнання – розміщуються з протилежного боку. Між цими зонами формується технологічний коридор, який відіграє важливу роль в експлуатації підприємства. У цьому коридорі розташовані оглядові вікна, датчики та контрольно-вимірювальні прилади, що дозволяє оператору здійснювати візуальний контроль і оперативно реагувати на зміни технологічних параметрів.

Верхні рівні будівлі (на висоті близько 10 м) використовуються для розміщення частини дистиляційного обладнання, зокрема конденсаторів, а також вузлів випаровування та абсорбції. Тут також передбачаються технологічні проходи для обслуговування обладнання. Нижній рівень (перший поверх) призначений для встановлення насосного обладнання, резервуарів (ємностей місцели, сепараторів «гексан–вода», водонагрівачів), що забезпечує зручність їх обслуговування та підключення комунікацій.

У разі використання екстракторів інших типів – петльових (Loop) або камерних (Sliding Cell) – загальна компоновка залишається подібною, однак виникає необхідність організації контролю на декількох рівнях, оскільки такі екстрактори мають більш складну просторову структуру. Для роторних екстракторів характерне дещо інше планування: вони, як правило, розміщуються

разом із десольвентером у центральній частині будівлі, а дистиляційна секція – з одного боку, що формує більш компактну, майже квадратну схему цеху.

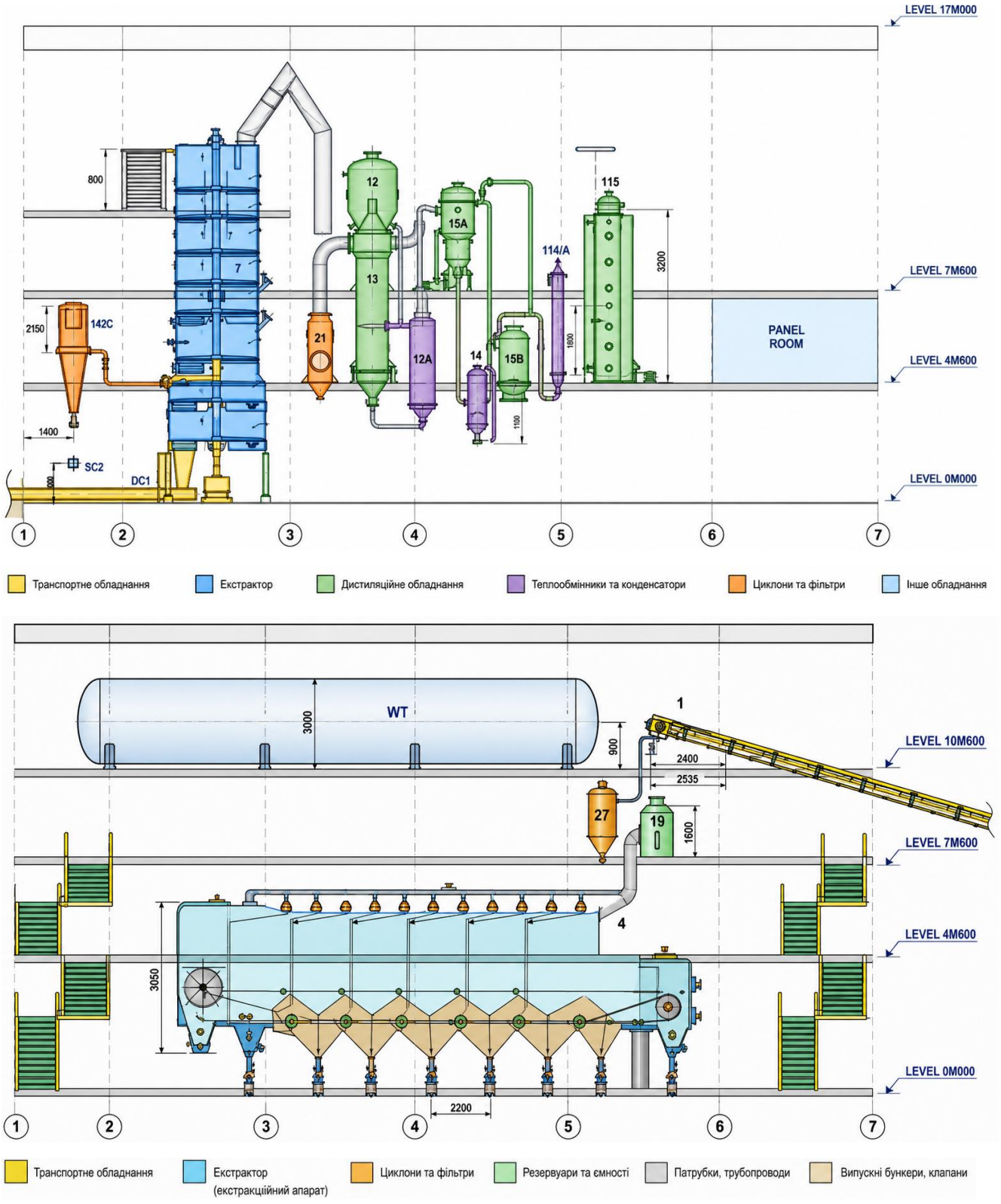

Рисунок 3.2 – Типове планування екстракційного заводу з використанням розчинників

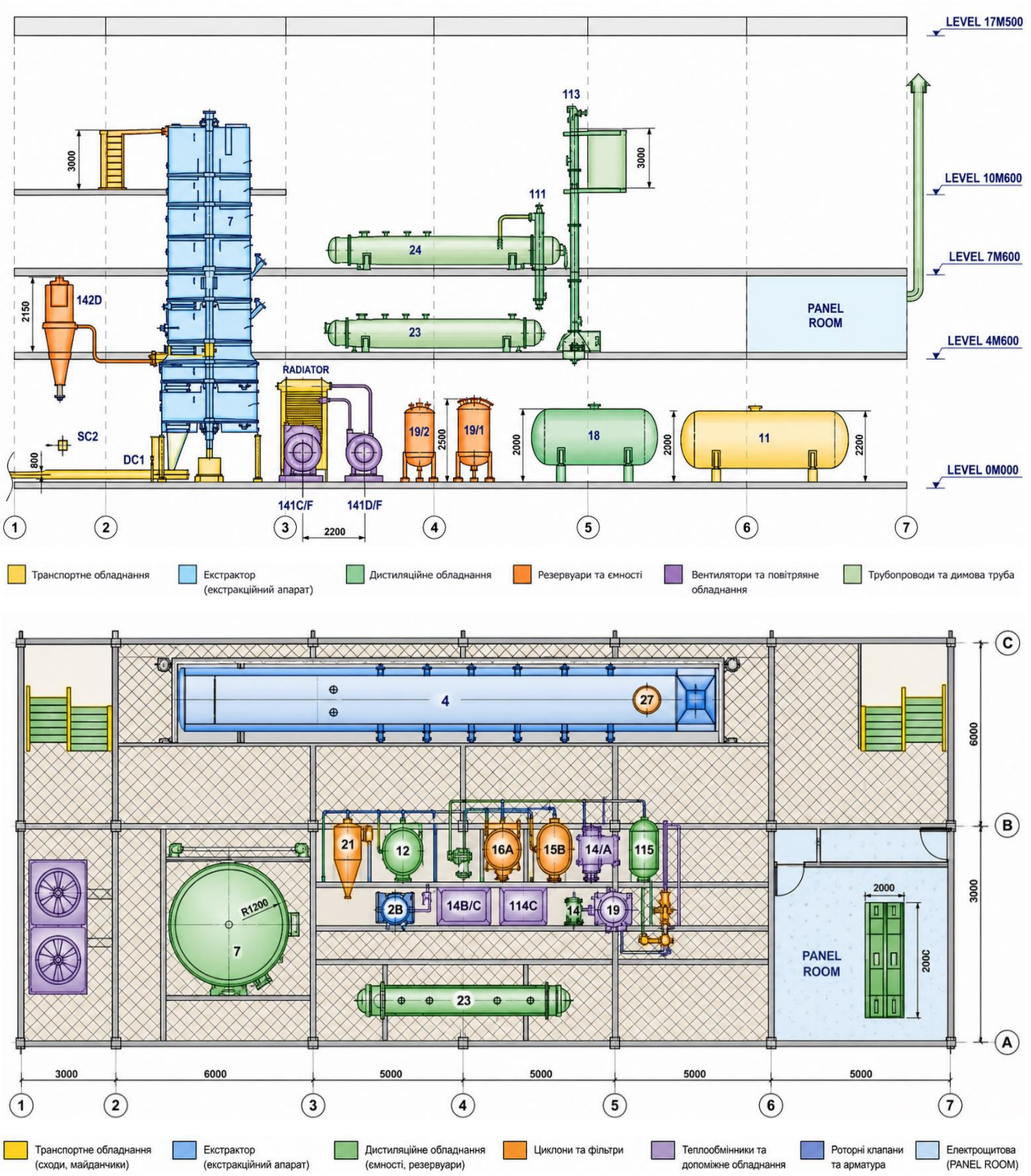

Рисунок 3.2 – Типове планування екстракційного заводу з використанням розчинників (продовження)

Пояснення до рис. 3.2: P12, P19/1, P60, P15A, P24, P113, P3 – Дистиляційні насоси – 2; P1, P11, P15B, P115, P19/2 – Дистиляційні насоси – 1; P4A, P4B & P1R – Насоси екстрактора; P4/1 – P4/7, P4C – Насоси зрошення екстрактора; WP –

Насос води; WT – Бак води; 115 – Стрипер рекуперації; 14B/C – Пластинчастий теплообмінник; 114A – Нагрівач; 113 – Абсорбер рекуперації; 111 – Повітряний охолоджувач; 27 – Фільтр місцели; 24 – Конденсатор; 23 – Конденсатор; 21 – Пиловловлювач; 19 – Водонагрівач; 18 – Сепаратор розчинник–вода; 15B – Сушарка; 15A – Стрипер; 14 – Нагрівач; 13 – Випарник; 12A – Економайзер – 2; 12 – Економайзер; 11 – Бак місцели; 9 – Конвеєр шроту; PC1 — Шнековий конвеєр; 142C – Циклон холодного повітря; 142D – Циклон гарячого повітря; 141D/I – Димосос для сушарки; 141C/F – Вентилятор для охолоджувача; 141D/F – Вентилятор для радіатора; 7 – Десольвентер-тостер-сушарка-охолоджувач (DTDC); 5 – Конвеєр розчинника; 4 – Екстрактор; 2B – Роторний клапан; 2A – Роторний клапан; 1 – Ланцюговий конвеєр.

Система зберігання розчинника є важливим елементом планування. Резервуари для гексану зазвичай розміщуються під землею поблизу будівлі, що дозволяє зменшити температурні коливання та втрати розчинника. Від них прокладаються трубопроводи до насосної станції, розташованої на першому рівні. Поряд із дистиляційною секцією зазвичай встановлюється градирня для охолодження води, а також циркуляційні насоси.

Сучасні екстракційні заводи оснащуються автоматизованими системами керування. Управління технологічним процесом здійснюється з центрального пульта, розташованого в операторській. Найбільш доцільним є розміщення операторської поза межами екстракційного цеху, наприклад у будівлі підготовчого відділення, що забезпечує більш комфортні умови роботи персоналу. Для контролю процесу використовуються великі інформаційні панелі або екрани, які відображають повну технологічну схему підприємства з поточними параметрами.

При проєктуванні планування необхідно враховувати також логістику потоків сировини та продуктів, мінімізацію довжини трубопроводів, зручність технічного обслуговування, а також можливість подальшого розширення виробництва. Раціональне розміщення обладнання забезпечує не лише ефективність технологічного процесу, але й зменшення експлуатаційних витрат.

Таким чином, типове планування екстракційного заводу є результатом оптимального поєднання технологічних, конструктивних та експлуатаційних рішень. Воно базується на принципах безперервності процесу, гравітаційного переміщення матеріалів, енергоефективності та зручності контролю, що в сукупності забезпечує високу продуктивність і надійність роботи підприємства.

Висновки за розділом

Розрахунок екстракційної технології отримання рослинних олій показує, що поєднання попереднього пресування з подальшою екстракцією розчинником забезпечує максимально повне вилучення олії (понад 99%) при раціональних витратах енергії та мінімальних втратах розчинника. Виконані матеріальні та теплові баланси дозволяють обґрунтувати продуктивність обладнання, витрати пари й розчинника, а також підтверджують доцільність застосування теплової інтеграції процесу.

Типове планування екстракційного заводу передбачає компактне та функціональне розміщення основних технологічних вузлів (екстрактора, десольвентера, дистиляційної системи) з урахуванням зручності експлуатації, контролю процесів і логістики потоків. Раціональна компоновка обладнання сприяє безперервності виробництва, зменшенню енергетичних втрат і підвищенню ефективності всієї технологічної лінії.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці та питання безпеки

Розчинник, що використовується при екстракції рослинних олій – гексан – є високолеткою речовиною і становить вибухонебезпечну загрозу. Він класифікується як легкозаймиста речовина класу ІВ, тобто як розчинник із підвищеним ризиком вибуху. Тому всі електродвигуни та електротехнічне обладнання на екстракційній установці повинні бути у вибухозахищеному виконанні. Конструкція обладнання також має відповідати вимогам іскробезпеки. Електрощити розміщуються в окремому безпечному приміщенні. Детальніше ці питання розглядаються в розділі 15.

У більшості країн територія радіусом 15 м навколо установки вважається «безпечною зоною» і огороджується стіною висотою близько 1,5 м для локалізації парів гексану у разі аварійного витоку. Підготовче відділення та ділянка фасування шроту розташовуються за межами цієї зони. Крім того, входи та вікна на рівні землі в прилеглих будівлях повинні бути розташовані так, щоб відстань до установки становила не менше 30 м.

Допоміжне обладнання, необхідне для роботи підприємства (градирні, резервуари для зберігання розчинника), може розміщуватися в межах безпечної зони, але за умови використання вибухозахищених електродвигунів та арматури. Гексан зазвичай зберігають у підземних резервуарах, хоча в холодному кліматі допускається надземне зберігання під навісом.

Усі інструменти, що використовуються на підприємстві, повинні бути іскробезпечними. Для цього їх виготовляють із м’яких металів (наприклад, латуні), щоб при контакті зі сталевими поверхнями не виникали іскри. Освітлювальні прилади також повинні бути вибухозахищеними. Мобільні телефони або здаються при вході в небезпечну зону, або повинні бути вимкнені.

На всьому обладнанні повинна бути встановлена автоматична система пожежогасіння (спринклерна система). При підвищенні температури скляні елементи форсунок руйнуються, і починається подача води. Система має бути підключена до високонапірної пожежної водопровідної мережі підприємства.

У разі відключення електроенергії всі гарячі пари повинні бути сконденсовані для запобігання підвищенню тиску. Для цього використовується резервуар з водою, розташований вище рівня обладнання, який завжди підтримується заповненим. Зворотний клапан під баком відкривається при припиненні роботи насосів і забезпечує подачу води до конденсаторів.

По периметру підприємства встановлюються пожежні гідранти високого тиску. Також передбачаються під'їзні шляхи щонайменше з двох сторін уздовж захисної огорожі для забезпечення доступу аварійних служб.

4.2 Захист навколишнього середовища

Екстракційне виробництво рослинних олій із застосуванням органічних розчинників супроводжується потенційним впливом на навколишнє середовище, зокрема через викиди парів гексану, утворення стічних вод та теплове навантаження. Тому при проєктуванні та експлуатації таких підприємств особливу увагу приділяють мінімізації екологічних ризиків.

Основним джерелом викидів є вентиляційне повітря, що містить пари розчинника. Для їх уловлювання застосовуються абсорбційні системи з використанням мінеральної олії, які дозволяють знизити концентрацію гексану у викидах до нормативних значень. Додатково використовуються конденсатори, які забезпечують повернення більшої частини розчинника в технологічний процес, що не лише зменшує вплив на довкілля, а й підвищує економічну ефективність виробництва.

Стічні води утворюються переважно в системах конденсації та очищення газів. Вони можуть містити залишки розчинника та механічні домішки, тому перед скиданням підлягають очищенню в локальних очисних спорудах.

Застосування замкнених систем водопостачання дозволяє значно скоротити споживання води та обсяги стоків.

Тверді відходи виробництва представлені, головним чином, шротом, який є цінним кормовим продуктом і не становить екологічної небезпеки. Пил, що утворюється під час транспортування та обробки сировини, уловлюється циклонами та фільтрами, що запобігає його потраплянню в атмосферу.

Важливим напрямом є енергозбереження та зниження теплових втрат. Використання рекуперації тепла (зокрема, застосування економайзерів і теплообмінників) дозволяє зменшити споживання пари та енергоресурсів, що позитивно впливає як на економічні показники, так і на екологічну безпеку виробництва.

Таким чином, сучасні екстракційні заводи проєктуються з урахуванням принципів екологічної безпеки, що передбачає замкнені цикли використання ресурсів, ефективні системи очищення викидів і мінімізацію втрат розчинника.

Висновки за розділом

Розглянуто основні аспекти охорони праці та захисту навколишнього середовища при виробництві рослинних олій екстракційним методом. Встановлено, що забезпечення вибухобезпечності, використання спеціального обладнання та дотримання технологічних регламентів є ключовими умовами безпечної роботи підприємства. Одночасно впровадження сучасних систем очищення викидів, рекуперації розчинника та раціонального використання енергоресурсів дозволяє мінімізувати негативний вплив виробництва на довкілля. Це забезпечує відповідність підприємства сучасним вимогам промислової безпеки та екологічних стандартів.

5 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР

5.1 Впровадження елементів системи НАССР при екстракційної технології отримання рослинних олій

Впровадження системи НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points – аналіз небезпечних факторів і контроль у критичних точках) у технології отримання рослинних олій методом екстракції є необхідною умовою забезпечення безпечності та стабільної якості продукції. Особливістю екстракційного виробництва є використання органічних розчинників (гексану), що потребує підвищеної уваги до контролю хімічних ризиків, а також суворого дотримання технологічних параметрів на всіх етапах процесу.

Система НАССР базується на ідентифікації потенційних небезпечних факторів, їх оцінці та встановленні контрольних заходів для їх запобігання, усунення або зниження до допустимого рівня. У процесі виробництва рослинної олії розглядаються три основні групи небезпек: біологічні, хімічні та фізичні.

На стадії приймання та зберігання сировини основними ризиками є наявність мікотоксинів, пестицидів, сторонніх домішок і підвищеної вологості, що може спричинити розвиток мікрофлори. Для їх контролю здійснюється вхідний контроль якості насіння, включаючи лабораторний аналіз, очищення та сушіння.

На етапі підготовки сировини (очищення, подрібнення, плющення) існує ризик фізичного забруднення (металеві частинки, пил), що усувається шляхом використання магнітних уловлювачів, сит та аспіраційних систем. Важливим є також контроль температури обробки, щоб запобігти небажаним змінам якості олії.

Ключовим етапом є екстракція, де основним небезпечним фактором є залишковий вміст розчинника в продукції. Контроль здійснюється через регулювання параметрів процесу (температура, витрата розчинника, час контакту)

та герметичність обладнання. На цьому етапі встановлюються критичні контрольні точки (ККТ), пов’язані з концентрацією гексану в місцелі та шроті.

Процеси десольвентації та дистиляції є критично важливими для забезпечення безпечності продукції. У десольвентері контролюється залишковий вміст розчинника у шроті (не більше 200 ppm), а також температура та вологість продукту. У дистиляційній системі контролюється повнота видалення розчинника з олії та ефективність конденсації парів.

На завершальних етапах (зберігання та транспортування олії) важливими є запобігання повторному забрудненню, контроль герметичності резервуарів, а також дотримання умов зберігання (температура, відсутність доступу кисню та світла).

Важливим елементом системи HACCP є документування всіх процедур, ведення журналів контролю, регулярна перевірка обладнання та навчання персоналу. Система повинна бути інтегрована в загальну систему управління якістю підприємства та передбачати постійний моніторинг і вдосконалення.

Таким чином, впровадження системи HACCP при екстракційній технології дозволяє забезпечити контроль якості та безпечності продукції на всіх етапах виробництва, знизити ризики та підвищити довіру споживачів до продукції.

Висновки за розділом

Обґрунтовано необхідність впровадження системи HACCP у виробництві рослинних олій екстракційним методом. Встановлено, що ідентифікація небезпечних факторів, визначення критичних контрольних точок та організація системи моніторингу дозволяють ефективно контролювати технологічний процес і гарантувати безпечність готової продукції. Реалізація принципів HACCP сприяє підвищенню якості продукції, зниженню виробничих ризиків та відповідності сучасним міжнародним стандартам харчової безпеки.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

6.1 Розрахунок економічних показників екстракційної технології отримання рослинних олій

Економічна ефективність екстракційної технології отримання рослинних олій визначається співвідношенням витрат на виробництво та отриманого прибутку від реалізації готової продукції. Для розрахунку приймається продуктивність підприємства 1000 кг/год насіння соняшнику, що відповідає приблизно 24 т/добу при безперервному режимі роботи.

На основі попередніх технологічних розрахунків встановлено, що вихід олії становить 476,1 кг/год, а також утворюється шрот у кількості 323,7 кг/год. Для економічної оцінки використовуються орієнтовні ринкові ціни (станом на сучасний період):

– насіння соняшнику — 14 000 грн/т;

– соняшникова олія — 45 000 грн/т;

– шрот соняшниковий — 10 000 грн/т;

– гексан — 50 000 грн/т.

1. Витрати на сировину

Витрати на насіння: 1000 кг/год × 14 грн/кг = 14 000 грн/год

2. Вихід продукції та дохід

Олія: 476,1 кг/год × 45 грн/кг = 21 424,5 грн/год

Шрот: 323,7 кг/год × 10 грн/кг = 3 237 грн/год

Загальний дохід: 21 424,5 + 3 237 = 24 661,5 грн/год

3. Витрати на розчинник

Втрати гексану: 22 кг/год × 50 грн/кг = 1 100 грн/год

4. Енергетичні витрати

Споживання пари: 400 кг/год × 1,5 грн/кг ≈ 600 грн/год

Електроенергія (орієнтовно): 100 кВт·год × 5 грн = 500 грн/год

Загальні енергетичні витрати: ≈ 1 100 грн/год

5. Інші витрати. До інших витрат належать: заробітна плата персоналу; амортизація обладнання; ремонт і обслуговування; адміністративні витрати.

Приймаємо узагальнено: ≈ 2 000 грн/год

6. Загальні витрати

Сировина: 14 000 грн

Розчинник: 1 100 грн

Енергія: 1 100 грн

Інші витрати: 2 000 грн

Разом: 18 200 грн/год

7. Прибуток: 24 661,5 – 18 200 = 6 461,5 грн/год

8. Рентабельність виробництва: (6 461,5 / 18 200) × 100% ≈ 35,5%

9. Термін окупності

При орієнтовній вартості обладнання екстракційної лінії ≈ 25–35 млн грн, та середньому прибутку: 6 461,5 грн/год × 24 год × 300 днів ≈ 46,5 млн грн/рік. Термін окупності: ≈ 0,7–1,0 року (з урахуванням реальних умов – 1,5–2 роки)

Висновки за розділом

Проведений техніко-економічний розрахунок показує, що екстракційна технологія отримання рослинних олій є економічно доцільною та високорентабельною. Основний прибуток формується за рахунок високого ступеня вилучення олії та реалізації побічного продукту – шроту. Використання розчинника з високим рівнем рециркуляції дозволяє мінімізувати витрати, а впровадження енергоефективних рішень знижує експлуатаційні витрати. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження комбінованої технології «пресування + екстракція» як оптимальної з економічної точки зору.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Рослинні олії є важливою сировиною харчової промисловості, що забезпечує високу енергетичну цінність продуктів і виконує ключові технологічні функції. Вони широко використовуються у різних галузях виробництва та характеризуються високою біологічною цінністю завдяки вмісту ненасичених жирних кислот. Ефективність їх застосування залежить від якості та правильного вибору виду олії. Таким чином, раціональне використання рослинних олій сприяє підвищенню якості продукції та має важливе значення для розвитку харчової промисловості України.

2. Розрахунок екстракційної технології отримання рослинних олій показує, що поєднання попереднього пресування з подальшою екстракцією розчинником забезпечує максимально повне вилучення олії (понад 99%) при раціональних витратах енергії та мінімальних втратах розчинника. Виконані матеріальні та теплові баланси дозволяють обґрунтувати продуктивність обладнання, витрати пари й розчинника, а також підтверджують доцільність застосування теплової інтеграції процесу. Типове планування екстракційного заводу передбачає компактне та функціональне розміщення основних технологічних вузлів (екстрактора, десольвентера, дистиляційної системи) з урахуванням зручності експлуатації, контролю процесів і логістики потоків. Раціональна компоновка обладнання сприяє безперервності виробництва, зменшенню енергетичних втрат і підвищенню ефективності всієї технологічної лінії.

3. Розрахунок екстракційної технології отримання рослинних олій показує, що поєднання попереднього пресування з подальшою екстракцією розчинником забезпечує максимально повне вилучення олії (понад 99%) при раціональних витратах енергії та мінімальних втратах розчинника. Виконані матеріальні та теплові баланси дозволяють обґрунтувати продуктивність обладнання, витрати пари й розчинника, а також підтверджують доцільність застосування теплової інтеграції процесу. Типове планування екстракційного заводу передбачає компактне та функціональне розміщення основних технологічних вузлів

(екстрактора, десольвентера, дистиляційної системи) з урахуванням зручності експлуатації, контролю процесів і логістики потоків. Раціональна компоновка обладнання сприяє безперервності виробництва, зменшенню енергетичних втрат і підвищенню ефективності всієї технологічної лінії.

4. Розглянуто основні аспекти охорони праці та захисту навколишнього середовища при виробництві рослинних олій екстракційним методом. Встановлено, що забезпечення вибухобезпечності, використання спеціального обладнання та дотримання технологічних регламентів є ключовими умовами безпечної роботи підприємства. Одночасно впровадження сучасних систем очищення викидів, рекуперації розчинника та раціонального використання енергоресурсів дозволяє мінімізувати негативний вплив виробництва на довкілля. Це забезпечує відповідність підприємства сучасним вимогам промислової безпеки та екологічних стандартів.

5. Обґрунтовано необхідність впровадження системи HACCP у виробництві рослинних олій екстракційним методом. Встановлено, що ідентифікація небезпечних факторів, визначення критичних контрольних точок та організація системи моніторингу дозволяють ефективно контролювати технологічний процес і гарантувати безпечність готової продукції. Реалізація принципів HACCP сприяє підвищенню якості продукції, зниженню виробничих ризиків та відповідності сучасним міжнародним стандартам харчової безпеки.

6. Проведений техніко-економічний розрахунок показує, що екстракційна технологія отримання рослинних олій є економічно доцільною та високорентабельною. Основний прибуток формується за рахунок високого ступеня вилучення олії та реалізації побічного продукту – шроту. Використання розчинника з високим рівнем рециркуляції дозволяє мінімізувати витрати, а впровадження енергоефективних рішень знижує експлуатаційні витрати. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження комбінованої технології «пресування + екстракція» як оптимальної з економічної точки зору.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Чехова І. В. Формування та розвиток ринку олійних культур: теорія, методологія, практика : монографія. Київ : Аграрна наука, 2021. 144 с. URL: http://imk.zp.ua/images/doc/chehova_2021_monografia.pdf

2. Чехова І. В. Особливості функціонування ринку олійних культур в Україні. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. 2022. № 32. С. 154–161. URL: https://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2022/32/Chekhova_32.pdf

3. Кузьменко С., Гаврилюк В., Мельниченко В. Перспективи розвитку ринку олійних культур. Актуальні проблеми інноваційної економіки та права. 2024. № 3. С. 95–100. DOI: https://doi.org/10.36887/2524-0455-2024-3-18

4. Семенда Д. К., Семенда О. В., Семенда О. В. Оцінка розвитку ринку продукції олійних культур. Молодий вчений. 2020. № 3 (79). С. 258–263. DOI: https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-3-79-54

5. Коломієць Т. В. Розвиток виробництва біопалива в Україні під час військового стану. Економіка та суспільство. 2024. № 63. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-55

6. Ринок олійних: виробники втратили маржу, динаміка експорту впала, а потужності переробки виросли. Latifundist.com. URL: https://latifundist.com/spetsproekt/1042-rinok-olijnih-virobniki-vtratili-marzhu

7. Про загальні збори учасників Асоціації «Укроліяпром». URL: https://ukroilprom.org.ua/news/pro-zagalni-zbory-uchasnykiv-asotsiatsiy-ukroliyaprom-311/

8. У 2024/25 МР Україна експортує понад 60 млн тонн зернових та олійних – Висоцький. АПК Інформ. URL: https://www.apk-inform.com/uk/news/1542066

9. Державна служба статистики України. URL: https://www.ukrstat.gov.ua

10. Аграрний сектор України у 2023 році: складові стійкості, проблеми та перспективні завдання. Національний інститут стратегічних досліджень. URL: https://niss.gov.ua

11. Extech. Redesigning of double-bottoms in Schumacher DT for reduction in pressure drop. 2016.

12. Extech. Design of solvent absorption system for low residual solvent in vent. 2018.

13. Extech. Sheanut crushing plant in Nigeria. Extech Process Engineering LLP, Thane, India. 2020.

14. Firdaus M., Salleh S. M., Nazir I. та ін. Preliminary design of screw press model of palm oil extraction machine. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017.

15. Heinrich D. Warm and hot dehulling of soybean. 2020.

16. Keshre P. Processing of castor beans: a case study. 2019.

17. LeClef E., Kemper T. Sunflower seed preparation and oil extraction. In: Sunflower – Chemistry, Production, Processing and Utilization. Elsevier, 2015.

18. Shurtleff W., Aoyagi A. History of soybean crushing (980–2016). Lafayette : Soyinfo Centre, 2016.

19. Tiwari S. K. Reduction in red colour in crude soybean oil. 2018.

20. Tiwari S. K. Solvent extraction of sal seed. 2019.

21. Vadke V. S. Co-generation systems in vegetable oil plants. Solvent Extractors Association of India, 2015.

22. Vadke V. S. Effects of extraction processes on oil quality. 2015.

23. Vadke V. S. Recent advances in miscella refining of cottonseed oil. 2017.

24. Ziemann C. Process of warm dehulling. 2020.

25. Алієв Е. Б., Пацула О. М., Гриценко В. Т. Технологія комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур : наук.-метод. реком. Запоріжжя : СТАТУС, 2017.

26. Алієв Е. Б., Миколенко С. Ю., Сова Н. А. та ін. Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини : монографія. Дніпро : ЛІРА, 2022. 192 с.

27. Івченко М. В., Сова Н. А., Кошулько В. С., Алієв Е. Б. Кероване фракціонування макухи насіння розторопші плямистої. Вісник ЛТЕУ. Технічні науки. 2025. № 44. С. 37–43. DOI: https://doi.org/10.32782/2522-1221-2025-44-05

28. Сова Н. А., Алієв Е. Б., Буца М. О., Лупко К. О. Дослідження температурних режимів процесу видобування олії. Науковий вісник ПУЕТ. 2025. № 3. С. 28–33. DOI: https://doi.org/10.37734/2518-7171-2025-3-4

29. Тертишна О. В., Сова Н. А., Алієв Е. Б., Тертишний О. О. Обґрунтування температурного режиму процесу видобування олії. Вісник ЛТЕУ. 2025. № 43. С. 12–19. DOI: https://doi.org/10.32782/2522-1221-2025-43-02

30. Алієв Е. Б., Алієва О. Ю., Литвинов І. В. Аналіз технологій переробки нішевих олійних культур. Матеріали конф. Миколаїв : МНАУ, 2026.

31. Алієв Е. Б. Аналіз обладнання переробки нішевих олійних культур. Матеріали конф. ТДАТУ, 2025. URL: http://www.tsatu.edu.ua

32. Алієв Е. Б. Обґрунтування складу техніко-технологічного забезпечення процесів переробки. Науково-технічний бюлетень ІОК НААН. 2025. № 39. С. 199–215. DOI: https://doi.org/10.36710/IOC-2025-39-17

33. Теслюк Ю. В., Алієв Е. Б., Акастьолов О. В. Маркетинговий аналіз ринку продуктів переробки олійних культур. Ефективна економіка. 2025. № 6. DOI: https://doi.org/10.32702/2307-2105.2025.6.28