

**МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет медико-фармацевтичних технологій
Кафедра біотехнології**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: « ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЮ З ВІДХОДІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ»**

Виконав : здобувач вищої освіти групи БТ621(3,10д)-02
спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія
освітньої програми Біотехнологія
Матвій ЩЕРБАК

Керівник: асистент кафедри біотехнології, доктор філософії
Аліна СОЛОВЙОВА

Рецензент: Доцент закладу вищої освіти кафедри
біотехнології, біофізики та аналітичної хімії
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут», к.т.н., доц.
Наталія МАСАЛІТІНА

Харків – 2025 рік

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена організації виробництва біодизелю з відходів сільськогосподарської продукції на умовному вітчизняному підприємстві ТОВ «Геліантус». У роботі подано опис технологічного процесу мікробіологічного синтезу ліпідів з лушпиння соняшника з подальшою трансестерифікацією для отримання біодизеля з високими експлуатаційними та екологічними характеристиками. Описано сировину, біологічний об'єкт, умови культивування, технологічну та апаратурну схеми виробництва. Як основний апарат розглянуто біореактор з рубашкою охолодження об'ємом 1000 л, призначений для культивування олеагінозних дріжджів.

Ключові слова: біодизель, лушпиння соняшника, мікробні ліпіди, *Yarrowia lipolytica*, трансестерифікація, біореактор, агровідходи

ANNOTATION

The work is dedicated to the organization of biodiesel production from agricultural waste at an enterprise "Heliantus." The paper presents a description of the technological process of microbial lipid synthesis from sunflower husks, followed by transesterification to obtain biodiesel with high operational and environmental characteristics. The raw materials, biological object, cultivation conditions, technological and apparatus schemes of production are described. The main apparatus considered is a 1000 litres bioreactor designed for the cultivation of oleaginous yeasts. The total volume of work is 54 pages, 3 figures, 4 tables, 2 A1 format drawings.

Key words: biodiesel, sunflower husks, microbial lipids, *Yarrowia lipolytica*, transesterification, bioreactor, agro-waste.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналітичний огляд.....	7
2 Характеристика готового продукту, сировини, матеріалів, напівпродуктів.....	11
2.1 Характеристика готового продукту.....	11
2.2 Характеристика сировини, матеріалів, напівпродуктів	14
2.3 Характеристика біологічного об'єкту.....	18
2.4 Біосинтез цільового продукту.....	21
3 Технологічна частина.....	23
3.1 Розрахунок матеріального балансу.....	23
3.2 Розрахунок і вибір технологічного обладнання (із кресленням основного апарату).....	27
3.3 Опис технологічного процесу.....	31
3.4 Схеми виробництва (зі специфікацією обладнання).....	35
3.5 Критичні параметри виробництва.....	39
3.6 Екологічні аспекти виробництва.....	41
Висновок.....	43
Список використаної літератури.....	45
Додатки.....	50

					<i>162.02.11.00 000 ПЗ</i>			
Змн..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Щербак М.О			Організація виробництва біодизелю з відходів сільськогосподарської продукції Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів		Соловйова А.В.					1	53
						НФаУ Кафедра біотехнології		
Н. контр.								
Затвердив		Хохленкова Н.В.						

ВСТУП

Актуальність теми. Боротьба за екологічно чисту енергію та зменшення викидів парникових газів набирає обертів. Біодизель є одним з найперспективніших відновлюваних видів палива, а оскільки його виробництво базується на сільськогосподарських відходах, він не потребує значних витрат для переходу від традиційних джерел палива. Програми субсидування біопалива вже діють у багатьох країнах світу, і дослідження показали, що вони є ефективними у зменшенні забруднення повітря. У цьому контексті існує потреба не лише у збільшенні знань про процес виробництва, але й в обґрунтуванні економічних та екологічних переваг біодизеля.

Мета роботи. Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка технології виробництва біодизелю з відходів соняшникового виробництва, з урахуванням техніко-економічних, екологічних і безпекових аспектів процесу.

Для досягнення мети були визначені **завдання**:

1. Здійснити аналіз літературних джерел щодо сучасного стану виробництва біодизелю з відходів агросектору;
2. охарактеризувати готовий продукт, біологічний об'єкт, сировину та напівпродукти виробництва;
3. розробити схему біосинтезу ліпідів із залученням олеагінозних мікроорганізмів;
4. описати технологічний процес виробництва біодизелю з урахуванням вибору обладнання та матеріального балансу;
5. дослідити критичні параметри та екологічні аспекти виробництва;
6. сформулювати висновки щодо доцільності впровадження розробленої технології у виробничу діяльність.

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єктом роботи є біодизель, що виробляється з аграрних відходів, а саме лушпиння соняшника, та біологічний об'єкт дріжджі *Yarrowia lipolytica*.

Предметом роботи є технологічні процеси мікробіологічного синтезу ліпідів та виробництва біодизелю з агровідходів, вибір біологічного об'єкта для синтезу, характеристика сировини та допоміжних компонентів, а також технологічне обладнання, необхідне для організації безпечного і ефективного виробництва альтернативного палива.

Методи, застосовані в дослідженні: аналіз, порівняння, скринінг даних, технологічні розрахунки, графічне викладення схем.

Практичне значення отриманих результатів. Актуальність розробки виробництва біодизелю з агровідходів полягає в необхідності створення стійких енергетичних джерел і зменшення залежності від імпортованих викопних палив. Ринок альтернативного пального в Україні перебуває на етапі становлення, а можливості для ефективної переробки сільськогосподарських відходів залишаються недовикористаними.

У результаті аналізу технологічних особливостей мікробіологічного синтезу ліпідів із лушпиння соняшника було розроблено стратегію організації виробництва біодизелю на умовному підприємстві ТОВ «Геліантус». Це дозволяє запропонувати модель екологічно чистого, енергоефективного та економічно доцільного виробництва пального, що може бути адаптоване до умов українських агропідприємств. Результати кваліфікаційної роботи можуть бути використані для впровадження біопаливного виробництва в умовах малого та середнього аграрного бізнесу, зокрема як частина програм енергетичної незалежності та повторного використання органічних відходів.

Апробація результатів досліджень та публікацій.

Результати досліджень опубліковані в матеріалах конференції:

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Щербак М.О Організація виробництва біодизелю з відходів сільськогосподарської продукції. Актуальні питання створення нових лікарських засобів: матеріали XXXI міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів (23-25 квітня 2025 р., м. Харків). – Харків: НФаУ, 2024. - С. 151.

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Біодизель — це рідке паливо, яке отримується шляхом хімічної обробки біологічних жирів або олій методом трансестерифікації. Основною перевагою біодизелю є його екологічність: він майже повністю розкладається в навколишньому середовищі, не містить сірки, а викиди CO₂ під час його згоряння значно менші, ніж у традиційного дизеля.

У світі основними виробниками біодизелю є США, Німеччина, Аргентина, Індонезія та Бразилія. У цих країнах розроблені державні програми підтримки біоенергетики, існує система дотацій та законодавча база, яка стимулює виробництво та споживання біопалива.

В Україні виробництво біодизелю перебуває на початковій стадії. Основними стримуючими чинниками є: висока вартість сировини (рослинних олій), відсутність чіткої державної стратегії розвитку біопалива, нестача інвестицій та досвіду реалізації масштабних проєктів. Водночас, потенціал для розвитку є значним — аграрна країна має величезні обсяги сільськогосподарських відходів, які часто не використовуються належним чином. [\[1\]](#)

Одним із ефективних напрямів є використання сільськогосподарських відходів як сировини для отримання біодизелю. До таких відходів належать: солома, лушпиння, відходи переробки олійних культур, гній, залишки зернових культур тощо.

Ці відходи багаті на целюлозу, геміцелюлозу та інші органічні компоненти, які можуть бути перетворені на цукри за допомогою попередньої обробки. Надалі ці цукри можуть бути використані як поживне середовище для росту олеагінозних мікроорганізмів — бактерій, дріжджів або мікроводоростей, які накопичують ліпіди у своїх клітинах.

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Олеагінозні мікроорганізми здатні накопичувати до 70% ліпідів у сухій масі клітин. До таких продуцентів належать:

- Дріжджі: *Yarrowia lipolytica*, *Rhodospiridium toruloides*
- Мікроводорості: *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis spp*
- Бактерії: *Rhodococcus opacus*, *Streptomyces spp.*

Ці організми можна культивувати на середовищах, що містять глюкозу, ксилозу або навіть гліцерин — побічний продукт біодизельного виробництва. У промислових умовах основними перевагами використання мікроорганізмів є:

- висока швидкість росту;
- можливість культивування протягом року незалежно від кліматичних умов;
- можливість генетичної модифікації для покращення продуктивності.

Проблеми та виклики

Серед основних проблем, пов'язаних із впровадженням біотехнології мікробного синтезу ліпідів з агровідходів, слід відзначити:

- потребу в ефективному попередньому гідролізі лігноцелюлозної сировини;
- наявність інгібіторів (фурфурол, оцтова кислота), що гальмують ріст мікроорганізмів;
- складність масштабування процесу.

Проте новітні дослідження у сфері біоінженерії та ферментаційної технології дозволяють оптимізувати процеси, використовуючи адаптовані штами мікроорганізмів, багатостадійне культивування та гібридні методи попередньої обробки сировини.

Таким чином, аналітичний огляд засвідчує доцільність і актуальність впровадження мікробіологічного виробництва біодизелю на основі агровідходів, особливо у аграрних регіонах України. [\[2\]](#)

Розвиток ринку біодизеля багато в чому залежить від правових умов країни. Наприклад, міжнародні стандарти, такі як EN14214, регулюють якість біодизеля та встановлюють вимоги до його властивостей. Крім того,

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

екологічні вимоги та правила поводження з відходами відіграють важливу роль у регулюванні виробництва. Субсидії, податкові пільги та стимули надаються компаніям, що виробляють біопаливо, у багатьох країнах.

Біодизель часто порівнюють з біоетанолом, іншим популярним біопаливом. Біодизель має більш високу щільність енергії і більш ефективно працює в двигунах, що використовують дизельне паливо. Однак через специфічні властивості біоетанолу він також використовується, наприклад, у бензинових двигунах. З екологічної точки зору обидва види біопалива допомагають знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу, але кожен з них має свої екологічні та економічні характеристики. жовтні не ділю біопалива включає в себе інші перспективні види, такі як біометан, які також можуть бути розроблені і використані в майбутньому.[\[3\]](#)

Процес виробництва біодизеля в основному базується на хімічній реакції, яка називається переестерифікацією, що дозволяє виробляти паливо з рослинних або тваринних жирів. Існує кілька різних типів цієї технології з використанням кислотних, лужних або ферментних каталізаторів. Кожен метод має свої переваги та недоліки і залежить від типу сировини, наявних ресурсів та інших факторів.

Біодизель є перспективним біопаливом з багатьма екологічними та економічними перевагами. Порівняння різних технологій виробництва, аналіз впливу на навколишнє середовище та вивчення правових умов дозволяють визначити найкращі підходи до організації ефективного та екологічно чистого виробництва біодизеля. Організацію виробництва запропоновано на ТОВ «Геліантус» - аграрному підприємстві, що розташоване у Харківській області та займається виробництвом на реалізацією сільськогосподарської продукції.

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОТОВОГО ПРОДУКТУ, СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ, НАПІВПРОДУКТІВ

2.1 Характеристика готового продукту

Біодизель є альтернативним видом моторного пального, який виробляється із сировини біологічного походження, зокрема з рослинних олій та тваринних жирів. Його отримують у результаті хімічної реакції трансестерифікації — процесу, що дає змогу модифікувати структуру тригліцеридів до метилових або етилових ефірів жирних кислот. Важливо зазначити, що біодизель можна застосовувати в більшості сучасних дизельних двигунів без необхідності їх адаптації, що сприяє його впровадженню як екологічно доцільної альтернативи традиційним видам пального.

Серед переваг біодизелю вирізняється зниження кількості шкідливих викидів у навколишнє середовище. Через відсутність у складі сірки (на відміну від мінерального дизпалива), його згоряння супроводжується меншою кількістю токсичних продуктів. До того ж, завдяки кращим мастильним властивостям, це паливо позитивно впливає на експлуатаційні характеристики двигуна, зокрема зменшуючи тертя між його рухомими елементами. Це може, певною мірою, подовжити строк служби техніки.

На окрему увагу заслуговує технологія одержання біодизелю із мікробної сировини. Так, дріжджі виду *Yarrowia lipolytica* здатні акумулювати значні об'єми ліпідів під час вирощування на агровідходах. У подальшому ці мікробні жири можуть бути перетворені на біодизель шляхом вже згаданої трансестерифікації. Таким чином, створюється замкнений біотехнологічний цикл, у якому аграрні відходи виступають не лише як субстрат, а й як елемент концепції сталого виробництва. Отримане

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

пальне належить до відновлюваних джерел енергії та може застосовуватись як у чистому вигляді, так і в сумішах із традиційним дизельним паливом. [4]

Біодизель має такі фізико-хімічні характеристики:

- ефективна теплота згоряння: 37–40 МДж/кг;
- щільність при 15°C: 860–900 кг/м³;
- кінематична в'язкість при 40°C: 3.5–5.0 мм²/с;
- температура спалаху: понад 100°C;
- вміст сірки: не більше 10 ppm;
- біорозкладність: понад 95% за 28 діб;
- цетанове число: >50;
- прозорий світло-жовтий колір, характерний запах жирних кислот.

Основним компонентом біодизелю є метилові ефіри жирних кислот (FAME), зокрема метилолеат, метилпальмітат, метилстеарат тощо. Ці сполуки утворюються в результаті реакції між тригліцеридами та метанолом за участю лужного каталізатора (NaOH).

Біодизель відповідає вимогам таких стандартів як:

EN 14214 – для європейського ринку;

ASTM D6751 – для американського ринку;

ДСТУ 7688:2015 – для українського ринку біопалив.

Його можна використовувати у чистому вигляді (B100) або у суміші з традиційним дизельним паливом (B5, B20). Крім транспортної сфери, біодизель застосовується в генераторах, котлах, агротехніці та для місцевого енергозабезпечення. [5]

Переваги біодизелю:

- зниження викидів CO, CH, твердих частинок і SO₂;
- скорочення парникового ефекту на 60–80% у порівнянні з мінеральним дизелем;
- біорозкладність і мінімальна токсичність при потраплянні в ґрунт або воду;
- мастильна здатність, що збільшує ресурс дизельного обладнання;

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- можливість виробництва з вторинної сировини без конкуренції з харчовими ресурсами.

Таким чином, біодизель можна вважати не лише екологічно прийнятним, але й економічно доцільним видом пального, що має потенціал для впровадження на рівні окремих господарств, зокрема таких, як ТОВ «Геліантус». Важливо, що організація виробництва такого палива можлива без надмірної технологічної складності, що робить його доступним навіть у межах локальних аграрних підприємств.

З технічного погляду, біодизель сумісний із традиційним дизельним паливом, і здатен змішуватись із ним у різноманітних співвідношеннях. Найбільш поширеними серед них є B20, що містить 20 % біопального, та B100 — тобто біодизель у чистому вигляді. Упровадження таких сумішей дозволяє не лише зменшити техногенне навантаження на довкілля, а й створити додаткові можливості для агросектору. Зокрема, біодизельна галузь стимулює вирощування технічних культур — як ріпак, соя, соняшник — які можуть слугувати сировинною базою для подальшої переробки. [6]

2.2 Характеристика сировини, матеріалів та напівпродуктів

У межах реалізації цього проекту основним видом сировини для виробництва біодизелю обрано лушпиння соняшнику — побічний продукт, який утворюється під час переробки насіння і, як правило, накопичується у підприємствах агропрофілю у досить значних кількостях. Зазвичай така біомаса не має високої комерційної цінності, однак її хімічний склад робить її перспективною для подальшого біотехнологічного використання.

До складу лушпиння входить значна частка лігноцелюлозного комплексу, який після відповідної підготовки — зокрема, ферментативного або кислотного гідролізу — може бути ефективно використаний як джерело вуглецю для росту мікроорганізмів. У цьому контексті гідролізоване лушпиння розглядається як доступний субстрат для мікробіологічного

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

синтезу ліпідів, які в подальшому можуть бути перетворені на біодизельне паливо. [7]

Характеристика сировини, матеріалів, напівпродуктів наведена у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Характеристика сировини, матеріалів, напівпродуктів, що використовуються при виробництві біодизелю «лушпиння соняшнику»

Найменування	Категорія та номер НТД	Показники НТД, обов'язкові для перевірки	Примітка
1	2	3	4
1. Основна сировина:			
Лушпиння соняшнику	ТУ У 15.8	- Вологість, % (не більше 12%) - Вміст золи, % (не більше 3–5%) - Теплота згоряння, МДж/кг - Домішки (металеві, ґрунтові, тощо)	Основна сировина. Біомаса для піролізу або ферментативної обробки.
Метанол (або етанол)	ДСТУ ГОСТ 2222:2014 (або інший відповідний стандарт)	- Масова частка основної речовини, % (не менше 99,5%) - Масова частка води, % (не більше 0,1%)	Використовується в реакції трансестерифікації.
Каталізатор (NaOH, KOH)	ДСТУ 2653:2005	- Масова частка основної речовини, % (не менше 85%) - Масова частка домішок (карбонатів, хлоридів) - Розчинність у воді	Для прискорення реакції трансестерифікації жирних кислот.
Олія соняшникова технічна	ДСТУ 4492:2005	- Кислотне число - Вміст вологи та домішок, % - Іодне число	Альтернативний компонент (якщо є залишки олії в лушпинні).
Гліцерин (побічний продукт)	-	- Масова частка гліцерину, % - Наявність води, мила, метанолу	Побічний продукт, може бути очищений та використаний в інших галузях.

1	2	3	4
Біодизель (кінцевий продукт)	ДСТУ EN 14214:2014	- Кінематична в'язкість при 40 °C - Щільність при 15 °C - Вміст сірки - Вміст метанолу - Вміст гліцерину (вільного та загального)	Продукт, що повинен відповідати міжнародним стандартам якості для використання в дизелях.

Для виробництва біодизелю використовується різноманітна сировина, яка поділяється на три основні категорії:

Рослинні олії – основне джерело тригліцеридів, необхідних для процесу трансестерифікації. Найбільш поширеними є:

Ріпакова олія – має оптимальне співвідношення ненасичених і насичених жирних кислот, що покращує якість пального.

Соева олія – широко використовується у США завдяки великому обсягу вирощування сої.

Соняшникова олія – має високий вміст ненасичених жирних кислот, що впливає на низькотемпературні властивості біодизелю.

Пальмова олія – відзначається високим вмістом насичених жирів, що забезпечує стабільність пального, але водночас підвищує температуру застигання.

Тваринні жири – отримуються як побічний продукт харчової промисловості. Їх використання у виробництві біодизелю є вигідним з екологічної точки зору, оскільки сприяє утилізації відходів. Проте біодизель із тваринних жирів має вищу температуру застигання, що обмежує його використання в холодному кліматі.

Відпрацьовані олії – ще один важливий вид сировини, що використовується для виробництва біодизелю. Це відпрацьовані рослинні олії з ресторанів, підприємств громадського харчування та промислових

виробництв. Використання такого ресурсу дозволяє значно знизити собівартість виробництва біопалива та мінімізувати екологічні ризики, пов'язані з утилізацією відпрацьованих жирів.

Окрім основної сировини, у процесі виробництва біодизелю використовуються допоміжні матеріали:

Спирти – найчастіше застосовується метанол, рідше – етанол. Вони беруть участь у реакції трансестерифікації та сприяють утворенню біодизелю.

Каталізатори – необхідні для прискорення хімічної реакції. Використовуються лужні (NaOH, KOH) або кислотні (H₂SO₄) каталізатори. Лужні каталізатори є більш ефективними для очищеної сировини, тоді як кислотні використовуються для переробки олій з високим вмістом вільних жирних кислот.

У результаті виробництва біодизелю утворюються також напівпродукти та побічні продукти:

Гліцерин – один з основних побічних продуктів. Він має широкий спектр застосування у фармацевтичній, харчовій та косметичній промисловості. Очищений гліцерин можна використовувати як самостійну хімічну сировину.

Мильні залишки – утворюються при використанні лужних каталізаторів. Вони можуть бути використані у виробництві миючих засобів або піддаватися подальшій переробці для мінімізації втрат сировини.

Метанол, що не прореагував – частина метанолу може залишатися невикористаною у процесі трансестерифікації. Його необхідно повторно переганяти та повертати у виробництво для зниження витрат. [8]

Якість початкової сировини, так само як і ефективність усіх етапів технологічного процесу, має ключове значення для досягнення стабільних показників у виробництві біодизелю. Використання високоякісних рослинних олій — переважно рафінованих — забезпечує кращі низькотемпературні властивості пального, що особливо актуально для

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регіонів із помірним або холодним кліматом. Водночас, коли як сировину застосовують відпрацьовані кухонні або технічні масла, виникає потреба у попередньому очищенні, адже присутність домішок негативно позначається на кінцевому продукті.

Вибір того чи іншого виду сировини зазвичай залежить від низки чинників, серед яких особливо важливими є географічне розташування, доступність ресурсів і, безумовно, економічна складова. Так, у країнах Європейського Союзу найчастіше використовують ріпакову олію, у Сполучених Штатах переважає соєва, тоді як у державах Південно-Східної Азії широко застосовується пальмова — головним чином через її масове вирощування в регіоні.

Отже, виробництво біодизелю — це не просто реакція чи набір технічних операцій, а цілий комплексний ланцюг, що вимагає виваженого підходу до вибору сировини, правильного підбору каталізаторів та інших допоміжних речовин, а також ретельного поводження з побічними продуктами. Саме узгодженість цих елементів дає змогу отримати пальне, яке не тільки відповідає вимогам якості, а й має знижений екологічний слід.

2.3 Характеристика біологічного об'єкту

У межах цього проєкту основною біологічною моделлю виступають дріжджі *Yarrowia lipolytica* — мікроорганізми, що належать до умовно-патогенних олеагінозних видів, відомих своєю здатністю до ефективного накопичення ліпідів у клітинних структурах. Олієутворювальними мікроорганізмами називають ті, що здатні накопичувати ліпіди в кількості понад 20% від їхньої сухої маси за умов стресу, зокрема за високого вмісту джерел вуглецю та низького — азоту. Ці мікроорганізми споживають різноманітні відновлювані ресурси та перетворюють їх на мікробну олію, яка далі використовується для виробництва біодизеля шляхом трансестерифікації. Така мікробна олія також відома під назвою «олією з одноклітинних організмів». Перше комерційне виробництво олії з

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

одноклітинних організмів відбулося ще у 1985 році, причому ріст клітин поєднував автотрофний та гетеротрофний способи, що забезпечувало вищу продуктивність. Особливістю цього штаму є висока адаптивність до стресових факторів навколишнього середовища та універсальність у виборі субстратів для росту, що включає агровідходи, гліцерин і гідролізати лігноцелюлозної сировини. [9,33]

Y. lipolytica демонструє здатність метаболізувати широкий спектр джерел вуглецю — починаючи від простих цукрів, таких як глюкоза, і закінчуючи складнішими жирними кислотами. Особливо важливим є її потенціал до інтенсивного синтезу триацилгліцеридів, які в клітинах акумулюються у вигляді ліпідних крапель. При умові обмеженого доступу азоту та надлишку вуглецю ця здатність може досягати рівня, коли ліпіди становлять до 60 % сухої маси клітин. Крім того, варто відзначити, що цей штам має статус GRAS (Generally Recognized As Safe), що відкриває широкі можливості його застосування, зокрема у виробництві кормів, харчових добавок та біопалива, без необхідності додаткових санітарних заходів.

Морфологічно клітини дріжджів мають овальну або еліпсоїдну форму, з розміром у діапазоні від 2 до 6 мкм, а на живильних агаризованих середовищах формують колонії кремового відтінку. У рідких середовищах вони здатні досить швидко нарощувати біомасу, досягаючи концентрацій понад 20 г/л.

У промисловому масштабі культивування *Yarrowia lipolytica* проводять у біореакторах, де забезпечується суворий контроль таких параметрів, як температура, рівень рН та аерація, що є критичним для оптимізації продуктивності процесу.

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 2.1 Колонії *Yarrowia lipolytica*

Основні характеристики *Y. lipolytica*:

- оптимальна температура росту: 28–30°C;
- рН середовища: 5.5–6.5;
- швидкість накопичення ліпідів: до 50–60% від сухої маси клітин;
- основний тип ліпідів: триацилгліцериди з жирними кислотами C16–C18.

Переваги використання дріжджів:

- можливість культивування на відходах (гідролізатах);
- добра переносимість токсичних сполук, присутніх у гідролізатах;
- високий рівень біосинтезу ліпідів у короткий термін (48–72 годин).

Таким чином, комплексна характеристика сировини, напівпродуктів і мікроорганізму, що використовується, демонструє обґрунтованість вибору технології виробництва біодизелю саме з відходів сільськогосподарської продукції — зокрема, лушпиння соняшника.

Олійні дріжджі, серед яких виділяються *Lipomyces*, *Yarrowia lipolytica* та *Rhodospiridium toruloides*, характеризуються здатністю накопичувати значні обсяги ліпідів — іноді до 70 % сухої маси клітин. Така особливість робить їх надзвичайно перспективними у контексті біотехнологічного виробництва біодизелю, оскільки велика кількість внутрішньоклітинних жирів є ключовою сировиною для подальшої трансестерифікації.

Щодо мікрроводоростей, то такі види, як *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis* та *Botryococcus braunii*, також можуть накопичувати значну частку ліпідів у своїй біомасі — до 50 %. Особливо цінним є їх швидкий темп росту та можливість культивування на різноманітних відходах, що підвищує їх привабливість для масштабного виробництва біодизелю.

Крім того, слід відзначити, що деякі види грибів, наприклад *Mortierella isabellina*, а також бактерії, такі як *Pseudomonas aeruginosa*, здатні синтезувати жирні кислоти, які можуть бути використані у технологіях виробництва біопального. Хоча їх внесок у цій сфері є менш дослідженим, проте потенціал цих мікроорганізмів заслуговує на увагу. [10]

Ферменти, зокрема ліпази, широко використовуються для каталізації процесу трансестерифікації у виробництві біодизелю. Ліпази можуть діяти при низьких температурах і без потреби в хімічних каталізаторах, що робить процес більш екологічним та економічно вигідним.

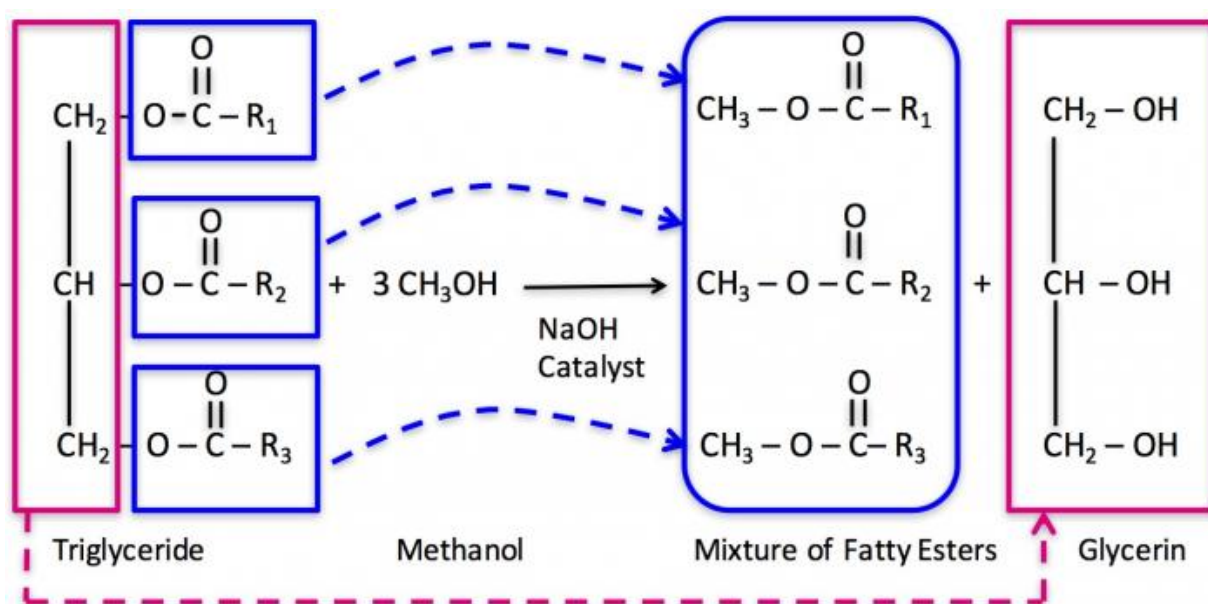


Рис. 2.2 Хімізм виробництва біодизеля

2.4 Біосинтез цільового продукту

Біосинтез біодизелю в рамках даного проєкту передбачає два ключові етапи: накопичення мікробних ліпідів у клітинах дріжджів *Yarrowia lipolytica* та подальше перетворення ліпідів у біодизель шляхом хімічної трансестерифікації. Накопичення ліпідів у олеагінозних мікроорганізмах залежить не лише від концентрації поживних речовин, але й від таких параметрів, як температура, рН, інтенсивність аерації та розчинений кисень. Наприклад, деякі мікроводорості накопичують великі обсяги тригліцеридів в умовах азотного голодування. Дослідження показали, що амонійний азот у середовищі сприяє синтезу ліпідів, тоді як інші роботи підкреслюють роль органічного азоту у підвищенні ліпогенезу. Обмеження макроелементів — заліза, магнію, цинку, фосфору та азоту — також стимулює біосинтез ліпідів [33].

Оптимальними для накопичення ліпідів є температура понад 30 °С, нейтральне або лужне середовище та швидкість перемішування 200–300 об/хв. При стресових умовах у клітинах утворюються реактивні форми кисню, які, хоч і можуть пошкоджувати клітинні компоненти, у контрольованій кількості стимулюють ліпідний метаболізм.

Олеагінозні мікроорганізми продукують ацетил-КоА та NADPH — необхідні сполуки для синтезу жирних кислот. Переважання вуглецю при дефіциті азоту активує АМР-деаміназу, що розщеплює АМР до ІМР і аміаку. Це призводить до зниження АМР і пригнічення активності NAD(P)-залежної ізоцитратдегідрогенази. В мітохондріях ізоцитрат перетворюється аконітазою у цитрат, який транспортується у цитоплазму в обмін на малат. Там АТР-цитратліаза розщеплює цитрат до ацетил-КоА і оксалоацетату. Ацетил-КоА служить попередником для синтезу жирних кислот, а оксалоацетат конвертується в малат, який повертається в мітохондрії (рис 2.3) [20,33].

Для того, щоб екстрагувати ліпіди з мікроорганізмів, першою необхідною умовою є руйнування клітинної стінки. Для цього зазвичай використовують такі методи, як гомогенізація під високим тиском, кулькові

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

млини, ультразвук, імпульсне електричне поле, осмотичний шок, субкритична водна гідроліза, мікрохвилі, ферментативний гідроліз, автоліз та хімічний гідроліз. Крім того, для руйнування клітин застосовують гідроксильні радикали, наноскальпелі та фотокаталітично активний аміноклей, кон'югований з TiO_2 [33].

Далі для вилучення ліпідів з олеагінозних мікроорганізмів використовують методи екстракції розчинниками, пресування, комбіновану екстракцію з пресуванням, надкритичну екстракцію, екстракцію при підвищених температурі і тиску, екстракцію з використанням електропорації, ультразвукову допомогу та екстракцію із застосуванням іонних рідин як розчинників[19,33].

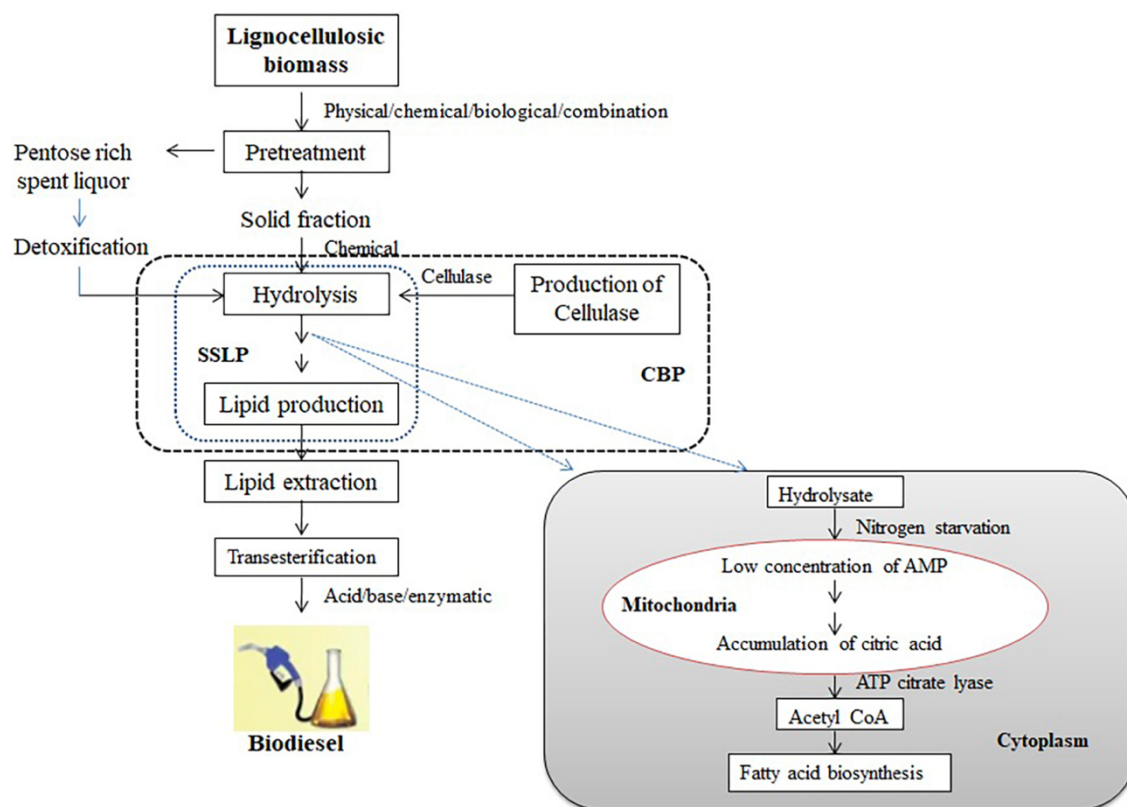


Рис. 2.3 – Схема біосинтезу ліпідів з лігноцелюлозної біомаси олеагінозними мікроорганізмами

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок матеріального балансу

У роботі розглянуто повний технологічний цикл виробництва біодизелю з агровідходів, зокрема лушпиння соняшника, за допомогою мікробіологічного синтезу. Здійснено докладний розрахунок матеріального балансу, обґрунтовано вибір основного та допоміжного обладнання, описано всі стадії виробництва та наведено критичні параметри, необхідні для ефективного перебігу процесу. [\[15\]](#)

Організація виробництва біодизелю з використанням відходів лушпиння соняшника передбачає здійснення низки технологічних операцій, які супроводжуються споживанням і перетворенням сировини на кожному етапі. Розрахунок матеріального балансу виконується для одного циклу роботи біореактора об'ємом 1000 л. Система передбачає послідовне проходження стадій: підготовка сировини (гідроліз), культивування мікроорганізмів, екстракція ліпідів та трансестерифікація жиру з отриманням кінцевого продукту — біодизелю. [\[16\]](#)

Визначення обсягу вихідної сировини Лушпиння соняшника, як основна сировина, подрібнюється до фракції 1–2 мм та подається у реактор гідролізу. Для одного циклу використовується 150 кг сухої сировини. Вміст вологи в подрібненому лушпинні становить приблизно 10%, тому фактична маса становить ~167 кг (з урахуванням вологи).

Кількість гідролізату, що утворюється після обробки Сировина заливається водним розчином сірчаної кислоти у співвідношенні 1:5 (маса:об'єм), тобто на 150 кг сухої маси потрібно 750 л води. Після гідролізу та нейтралізації кількість рідкого гідролізату становить ~900 л. Цей об'єм надходить до біореактора.

Поживне середовище та посівний матеріал До гідролізату додаються:

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — 3 кг

KH_2PO_4 — 1.5 кг

MgSO_4 , CaCl_2 — 0.5 кг загалом

Біотин, тіамін — у мікродозах Посівний матеріал дріжджів *Yarrowia lipolytica* додається в об'ємі 10% — 100 л.

Кількість отриманої біомаси Після 96 годин ферментації утворюється приблизно 20 кг сухої біомаси (при концентрації 20 г/л). Ліпідний вміст — близько 50% сухої маси, отже, ліпідів — 10 кг. [17]

Витрати реагентів на трансестерифікацію Для перетворення 10 кг ліпідів у біодизель необхідно:

метанол — 6:1 до маси жиру: 60 кг $\approx$ 75.9 л (густина метанолу 0.79 кг/л)

NaOH — 1% від маси жиру: 0.1 кг

Кількість продуктів після трансестерифікації

Біодизель (метиллові ефіри жирних кислот) — 90% від маси ліпідів: 9 кг.

Гліцерин — 1 кг

Для повноти оцінки ефективності виробництва біодизелю необхідно проаналізувати співвідношення між усіма вхідними компонентами та кінцевими продуктами. Таблиця 3.1 відображає масово-об'ємний баланс основних матеріальних потоків за один цикл об'ємом 1000 л:

Таблиця 3.1 – Загальний баланс матеріалів

Компонент	Кількість / Об'єм	Призначення або етап процесу
Лушпиння соняшника	100 кг	Сировина для гідролізу

Вода для гідролізу	600 л	Розчинник для утворення гідролізату
Поживні солі та вітаміни	5 кг	Живильні речовини для росту дріжджів
Посівний матеріал	60 л	Дріжджі <i>Yarrowia lipolytica</i>
Отримана біомаса	20 кг	Результат культивування мікроорганізмів
Ліпіди (жири)	10 кг	Виділені з біомаси після сушки та екстракції
Метанол	6 л	Реагент для трансестерифікації ліпідів
Каталізатор (NaOH)	0.1 кг	Лужний каталізатор для перетворення жирів
Біодизель	9 кг	Готовий продукт — метилові ефіри жирних кислот
Гліцерин	1 кг	Побічний продукт трансестерифікації

Таким чином, при обробці 100 кг агровідходів і використанні біореактора об'ємом 1000 л, в умовах оптимального процесу вихід біодизелю становить близько 9 кг (тобто ~90% від маси жиру). Отримані дані можуть бути масштабовані для оцінки добової продуктивності установки та планування витрат на реагенти й енергію. Таким чином, при

завантаженні 167 кг лушпиння та 100 л культури, з урахуванням додаткових реагентів, можна отримати 9 кг екологічно безпечного біодизелю та 1 кг гліцерину за один цикл роботи установки об'ємом 1000 л. Розрахунок підтверджує ефективність застосування агровідходів для локального виробництва біопального [18].

Матеріальний баланс є ключовим елементом проектування технологічного процесу, оскільки дозволяє визначити необхідну кількість сировини, реагентів, допоміжних компонентів, а також очікуваний вихід готової продукції та побічних продуктів. Для виробництва 9 кг біодизелю в результаті одного циклу потрібно:

Гідролізат лушпиння (сировина): 600 л

Посівний матеріал *Yarrowia lipolytica*: 60 л

Метанол для трансестерифікації: 6:1 до маси ліпідів (близько 6 л)

NaOH (каталізатор): 1% від маси ліпідів (0,1 кг)

Після ферментації:

Біомаса дріжджів: 20 кг

Ліпіди: 10 кг (50% від біомаси)

Біодизель: 9 кг (вихід після трансестерифікації — 90%)

Гліцерин: 1 кг [19].

3.2 Розрахунок і вибір технологічного обладнання

Організація виробництва біодизелю з лушпиння соняшника вимагає ретельного підходу до вибору технологічного обладнання, яке забезпечує повний замкнутий цикл біотехнологічної та хімічної трансформації сировини в готовий продукт. Основними критеріями при виборі апаратів є відповідність параметрам технологічного процесу, надійність, енергоефективність, гігієнічність, автоматизація управління і можливість масштабування. Усі апарати повинні бути сумісними за продуктивністю,

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

конструкцією з'єднувальних вузлів і відповідати санітарним нормам для мікробіологічного виробництва.

Виробничий процес включає кілька ключових етапів: підготовка сировини (гідроліз лушпиння соняшника), біосинтез мікробних ліпідів, їх виділення, очищення і трансестерифікація. Центральним вузлом є біореактор, у якому відбувається культивування дріжджів *Yarrowia lipolytica* для накопичення жиру. Цей апарат виконує роль серця біотехнологічного циклу, оскільки саме в ньому формуються цільові речовини, від яких залежить якість і кількість готового біодизелю [20].

Біореактор СБР — вертикальний циліндричний апарат із робочим об'ємом 900 л, обраний як основний апарат технологічної лінії з кількох причин. По-перше, він оптимально підходить для культивування олеагінозних мікроорганізмів, зокрема дріжджів *Yarrowia lipolytica*, завдяки конструктивним можливостям забезпечення ефективної аерації, перемішування і підтримання стерильності. По-друге, саме цей тип біореактора активно використовується у біотехнологічній промисловості України та Європи для вирощування продуцентів біомаси, ферментів та біопродуктів, що доводить його універсальність і надійність у експлуатації.

Крім того, конструкція СБР дозволяє реалізувати як періодичний, так і напівперіодичний режим культивування, що забезпечує гнучкість виробничого процесу. Важливо й те, що апарат серійно випускається низкою вітчизняних виробників, має документацію, паспорти, сертифікацію та підтримку сервісу, що є критично важливим при запуску виробництва в умовах українського підприємства.

Таким чином, вибір саме біореактора СБР- обумовлений поєднанням конструктивних, технологічних, економічних та практичних чинників. Він повністю відповідає потребам проекту з організації виробництва біодизелю з агровідходів. із робочим об'ємом 900 л. Конструкція біореактора забезпечує стерильність, однорідність середовища, рівномірне

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

перемішування, аерацію та стабільні умови культивування. Він виготовлений з харчової нержавіючої сталі AISI 316L, яка стійка до корозії, кислот, лугів і дезінфікуючих засобів. Усі внутрішні поверхні поліруються до дзеркального блиску, що запобігає налипанню залишків біомаси й полегшує санітарну обробку [21].

Корпус біореактора оснащений рубашкою охолодження, яка заповнюється холодоагентом для регуляції температури середовища в межах 28–30 °C. Температурний режим контролюється автоматично за допомогою термодатчиків і електронної системи керування. У нижній частині апарата розташована система аерації, яка забезпечує рівномірне постачання повітря у вигляді мікропухирців. Аерація здійснюється через дрібнопористу мембрану або трубчастий розпилювач, а повітря подається компресором з витратою 1–1.5 об/об/хв.

Для перемішування культурального середовища використовується вертикальна валова мішалка з лопатевими насадками, яка приводиться в дію редукторним електродвигуном. Частота обертання регулюється в межах 100–400 об/хв залежно від фази культивування. Ефективне перемішування запобігає осіданню клітин, забезпечує розподіл кисню та поживних речовин, а також стабілізує температуру у всьому об'ємі ферментаційної рідини.

У верхній частині біореактора розташовані технологічні патрубки для введення реагентів, посівного матеріалу, живильного середовища, зняття проб та відведення повітря. Передбачено оглядовий люк зі склом та світильником для візуального контролю процесу. Злив культуральної рідини здійснюється через дренажний кран у нижній частині корпусу. Автоматична система керування базується на контролері типу PLC з сенсорним інтерфейсом та має програмне забезпечення для збору даних, регулювання параметрів і аварійної сигналізації [22].

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стерилізація проводиться парою під тиском 1.0–1.5 атм, яка подається через парогенератор і внутрішню обв'язку. Усі вузли витримують стерилізацію в автоклавному режимі. Це забезпечує високу біобезпеку виробництва та стабільні умови ферментації.

Габаритні розміри біореактора СБР:

- внутрішній діаметр: 1000 мм
- висота циліндричної частини: 2000 мм
- загальна висота з люком і арматурою: 2500–2700 мм
- товщина стінки: 5 мм
- теплоізоляція: 50 мм мінеральної вати або піни
- вага (порожній): ~300–350 кг

У Додатку наведено креслення біореактора з позначенням наступних елементів:

- Корпус реактора
- Рубашка охолодження
- Мішалка з валом і редуктором
- Аераційний блок із мембраною
- Термопара, рН-електрод
- Люк оглядовий
- Технологічні патрубки
- Дренажний вузол [\[23\]](#).

У складі виробничого комплексу також передбачені:

- гідролізатор для обробки лушпиння кислотою (температура до 130 °С)
- фільтр-прес для видалення залишків твердої фази після гідролізу
- центрифуга для відділення клітинної біомаси
- вакуумна сушарка для осушення біомаси
- екстрактор ліпідів (гексанова або етанольна екстракція)
- реактор трансестерифікації із нагрівом і перемішуванням

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

- сепаратор для поділу біодизелю та гліцерину
- ємності зберігання готового продукту з контролем температури

Усі апарати з'єднані трубопроводами з клапанами, насосами та фільтрами. Параметри процесу контролюються в автоматичному або напівавтоматичному режимі. Такий рівень інтеграції дозволяє мінімізувати втрати, знизити вплив людського фактора та забезпечити повторюваність результатів при кожному циклі виробництва. Описана система може бути реалізована на аграрному підприємстві середнього масштабу як [24] енергоефективне рішення для переробки біомаси в екологічно чисте паливо.

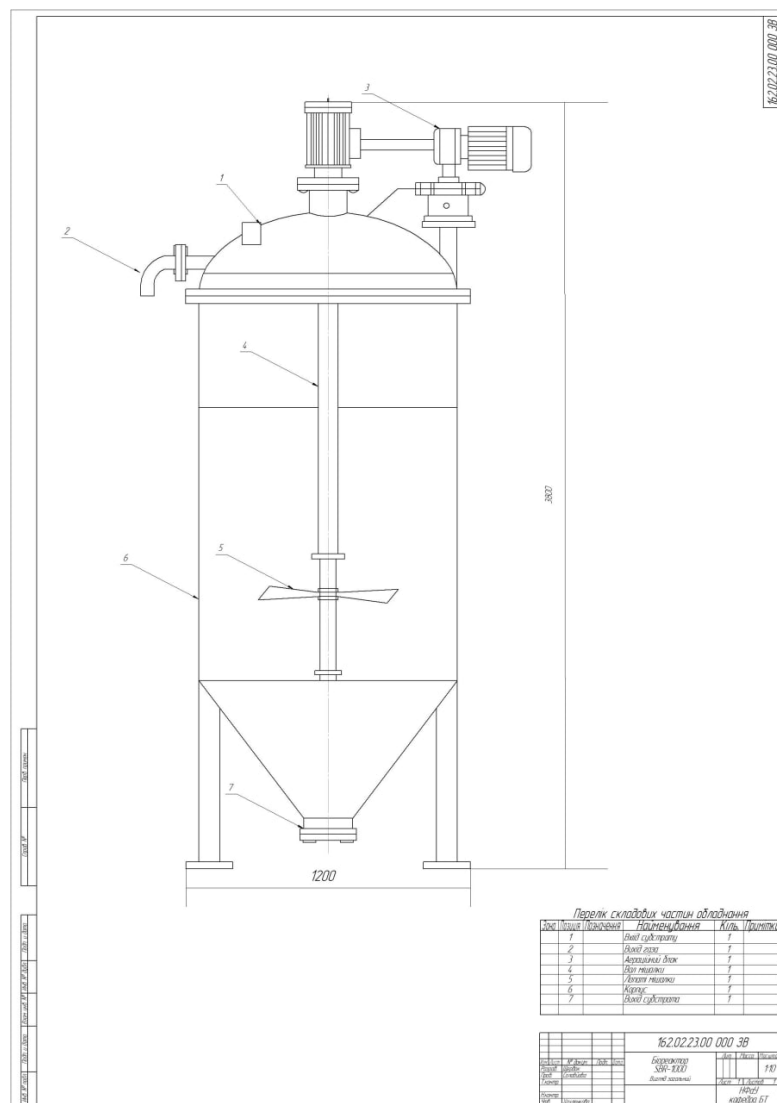


Рис. 3.1 - Загальний вигляд біореактора

У технологічному процесі біоконверсії лушпиння соняшника ключовим етапом є культивування дріжджів *Yarrowia lipolytica* для накопичення мікробних ліпідів. Основним апаратом для цієї мети є біореактор періодичної дії з внутрішнім змішувачем і системою аерації типу СБР. Для його вибору необхідно здійснити попередній розрахунок об'єму, з урахуванням добового обсягу обробки середовища та тривалості ферментації.

Масу середовища визначаємо як добове навантаження для тридобового процесу:

де

$m_{\text{добове}} = 500 \text{ л}$

тривалість $T = 3 \text{ доби}$

коефіцієнт заповнення $\eta = 0,8$

За формулою: $V_{\text{бр}} = (m_{\text{добове}} \times T) / \eta = (500 \times 3) / 0,8 = 1875 \text{ л} = 1,875 \text{ м}^3$

обираємо стандартний біореактор об'ємом 2 м^3 (СБР-1000).

біореактор має форму вертикального циліндра, а співвідношення висоти до діаметра $(H/D) = 2.5$.

Формула об'єму циліндра: $V = \pi \times (D^2 / 4) \times H = \pi \times D^3 \times 2.5 / 4$

Переводимо об'єм у см^3 : $V = 2 \text{ м}^3 = 2\,000\,000 \text{ см}^3$

Звідси розв'язуємо рівняння:

$D^3 = (2\,000\,000 \times 4) / (\pi \times 2.5) \approx 1\,018\,594 \text{ см}^3 \rightarrow D \approx 100 \text{ см}$
 $H = 2.5 \times D = 250 \text{ см}$

Отже, орієнтовні розміри апарату: $D = 1 \text{ м}$, $H = 2.5 \text{ м}$.

Температура ферментації: $28\text{--}30^\circ\text{C}$

Аерація: $1\text{--}1.5 \text{ об'ємів повітря/об'єм середовища/хвилину}$

Перемішування: $200\text{--}300 \text{ об/хв}$

Тиск: атмосферний, можливість герметизації

Матеріал корпусу: нержавіюча сталь AISI 316L

Внутрішня обробка: дзеркальна поліровка, стерилізація парою

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

За емпіричною формулою: $N = (\rho \times D^5 \times n^3) / 1000$ де:

ρ — густина середовища ≈ 1000 кг/м³

D — діаметр біореактора (1 м)

n — швидкість обертання (об/с) = 300 об/хв = 5 об/с

$N = (1000 \times 1^5 \times 5^3) / 1000 = 125$ Вт

орієнтовна потужність мішалки – 0.125 кВт (із запасом встановлюють 0.25 кВт).

3.3 Опис технологічного процесу

Технологічний процес виробництва біодизелю з агровідходів, зокрема лущиння соняшника, базується на поетапній біотехнологічній переробці сировини з використанням методів мікробного культивування, екстракції та хімічної трансформації ліпідів. Кожен етап процесу має визначене функціональне навантаження і реалізується на відповідному обладнанні з дотриманням технологічних параметрів. Наведений нижче опис відображає узгоджену послідовність операцій, які забезпечують максимальне використання сировини і вихід кінцевого продукту високої якості. [25]

Гідроліз лігноцелюлозної сировини. У подрібнювач подається сировина — лущиння соняшника, яка дробиться до частинок 1–2 мм. Після цього вона завантажується у гідролізатор (R1). Додається 1–2% сірчана кислота у співвідношенні маса:рідина = 1:5. Гідроліз відбувається при температурі 120–130°C протягом 60 хвилин за безперервного перемішування. У результаті утворюється суміш глюкозо-ксилозного гідролізату та нерозчинного залишку.

Фільтрація гідролізату. Після охолодження реакційну масу подають у фільтр-прес (F1), де відділяється тверда фракція. Рідка частина (гідролізат) далі нейтралізується розчином NaOH до pH 6.0. Освітлений гідролізат збирається в буферну ємність і є основою для поживного середовища.

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Приготування живильного середовища. У гідролізат додають мінеральні солі: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KH_2PO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 , вітаміни (біотин, тіамін). Готове середовище подається у біореактор (B1), об'ємом 1000 л, із внутрішнім змішувачем, системою аерації та рубашкою охолодження. Одночасно в біореактор додається посівна культура дріжджів *Yarrowia lipolytica* (10% об'єму).

Культивування дріжджів. У біореакторі підтримується температура 28–30°C, pH — 5.5–6.0, аерація — 1.0–1.5 об'ємів повітря/об'єм середовища/хв, перемішування — 300 об/хв. Культивування триває 72–96 год. У результаті утворюється біомаса, що містить до 50% ліпідів від сухої маси клітин.

Відділення та сушка біомаси. По завершенні ферментації культуральна рідина подається в центрифугу (C1), де біомаса осаджується. Осад передається у сушарку (D1), де висушується при температурі до 60°C до вологості <10%.

Екстракція мікробних ліпідів. Суха біомаса надходить до екстрактора (E1), де змішується з гексаном у співвідношенні 1:10. Процес екстракції триває 4 години при температурі 40–50°C з циркуляцією розчинника. Ліпіди виділяються в гексанову фазу, яка потім концентрується випаровуванням розчинника.

Трансестерифікація ліпідів. У реактор трансестерифікації (T1) подаються очищені ліпіди, метанол (6:1 до маси жирів) та 1% NaOH як каталізатор. Суміш нагрівається до 55–60°C і перемішується протягом 1.5–2 годин. В результаті реакції утворюються біодизель (метиліві ефіри жирних кислот) і гліцерин.

Розділення продуктів і зберігання. Реакційна маса направляється в сепаратор (S1), де відокремлюється легша фракція — біодизель, яка промивається водою і сушиться у вакуумній системі. Біодизель зберігається у резервуарі (T2), а гліцерин збирається для утилізації. [\[26\]](#)

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Крім основного технологічного ланцюга, важливу роль у процесі відіграє система автоматизованого моніторингу та керування. Всі основні етапи процесу інтегруються в єдину SCADA-систему, що забезпечує контроль температури, рН, рівня розчиненого кисню, витрат реагентів та тиску. Завдяки цьому досягається висока повторюваність процесу, гнучкість у масштабуванні, мінімізація людського фактору та забезпечення санітарно-гігієнічних вимог до виробництва.

Особливістю запропонованої технології є її орієнтація на відновлювальні джерела сировини, що відповідає сучасним світовим тенденціям сталого розвитку. Виробництво біодизелю з лушпиння соняшника дозволяє утилізувати агровідходи, зменшити залежність від викопного палива та створити енергонезалежну модель сільськогосподарського підприємства. Застосування мікробної трансформації підвищує ефективність вилучення цільових речовин, забезпечуючи вищий вихід продукту порівняно з прямою хімічною переробкою рослинної сировини. [\[27\]](#)

Таким чином, описаний технологічний процес не лише реалізує екологічно орієнтовану концепцію, а й створює передумови для розвитку замкнутих циклів біоекономіки, які можуть бути масштабовані до рівня як малих, так і великих агропідприємств.

Варто зазначити, що значну роль у підтриманні сталості та ефективності системи відіграє також логістика обробки сировини і зберігання продукту. Лушпиння соняшника може акумулюватися протягом усього року, що дозволяє забезпечити безперервну роботу виробництва навіть в умовах сезонності агропереробки. Проміжне зберігання біомаси повинно здійснюватися в герметичних умовах, щоб уникнути самозігрівання та мікробіологічного псування.

Ще однією критичною умовою є контроль за якістю гідролізату, оскільки його цукровий профіль безпосередньо впливає на продуктивність

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

дріжджів. Застосування стандартних методів аналітики (ГХ, ВЕРХ, фотометрія) дозволяє підтримувати необхідну концентрацію доступного вуглецю, а також контролювати рівень інгібуючих сполук, зокрема фурфуролу, які можуть утворюватися при надмірному гідролізі.

Контроль якості готового продукту (біодизелю) реалізується згідно з вимогами європейського стандарту EN 14214, де регламентується в'язкість, кислотне число, вміст метанолу, сульфатної золи та залишку після випаровування. Також важливим показником є йодне число, що вказує на насиченість біопалива. Усі ці параметри оцінюються на заключному етапі, що дозволяє верифікувати придатність продукту до експлуатації в дизельних двигунах.

Таким чином, запропонований технологічний процес не тільки економічно доцільний і енергетично ефективний, але й відповідає сучасним екологічним вимогам та критеріям якості готового біопалива. Усе це робить його привабливим не лише для аграрного бізнесу, а й для державних енергетичних програм з метою заміщення імпортного палива.

У перспективі така технологія може бути вдосконалена шляхом інтеграції з альтернативними джерелами енергії, наприклад, шляхом використання частини біогазу, що утворюється під час зброджування залишків субстрату, для підігріву теплоносіїв у біореакторі або сушарці. Також можлива часткова заміна органічного розчинника (гексану) у процесі екстракції на більш екологічно безпечні варіанти — наприклад, надкритичний CO₂ або етанол, що додатково підвищить екологічну безпечність виробництва.

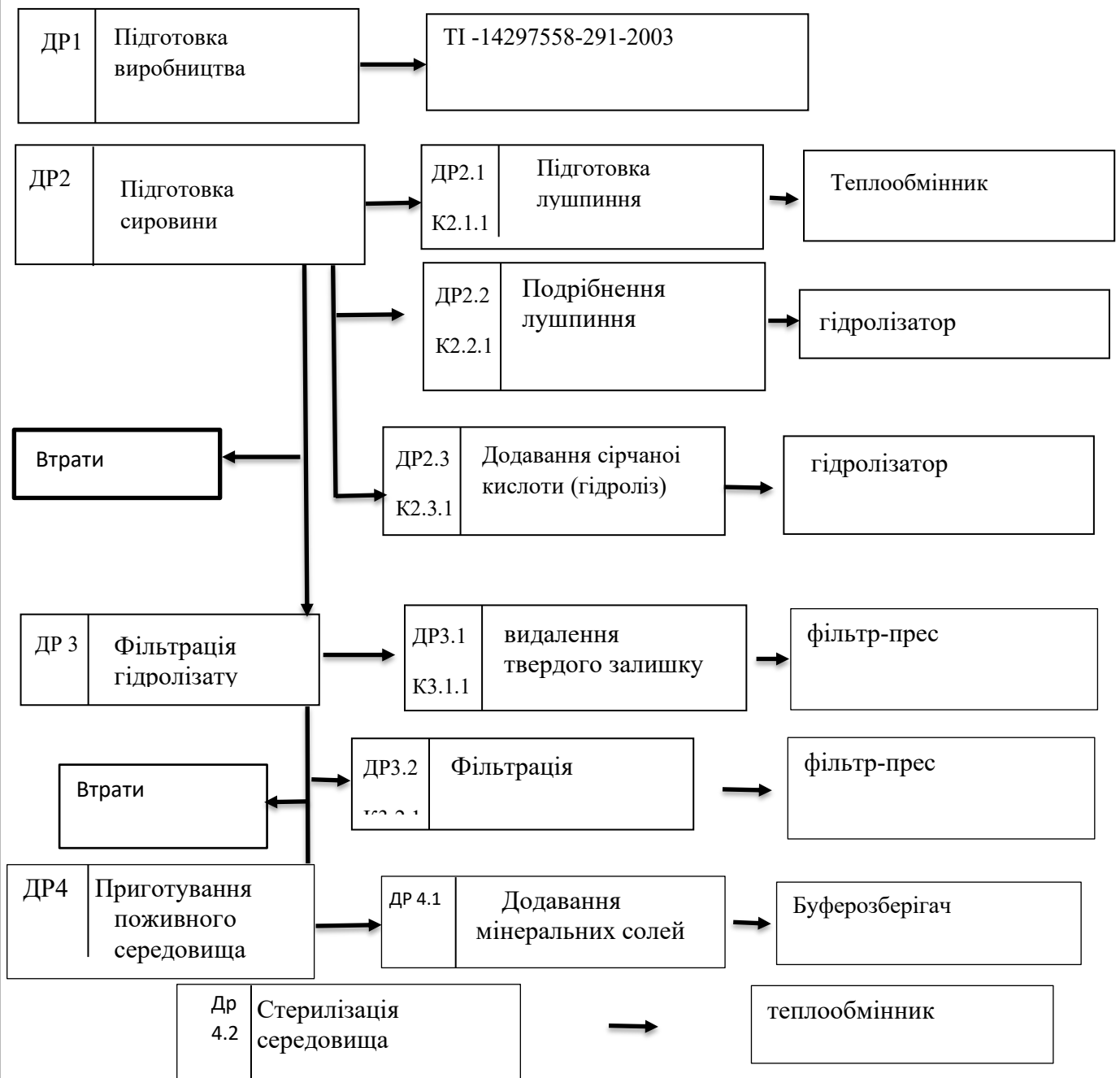
Не менш важливою є можливість адаптації даної моделі до інших типів сільськогосподарських відходів — соломи пшениці, кукурудзяних стебел, жому цукрових буряків, які мають подібний склад лігноцелюлози. Це відкриває шлях до створення багатoproфільних підприємств із

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

переробки біомаси, що працюють за модульним принципом і здатні швидко адаптуватися до наявної сировинної бази.

Отже, запропонована технологічна схема є гнучкою, екологічною, адаптивною до умов українського агросектору і може бути покладена в основу створення нових або реконструкції існуючих біоенергетичних комплексів регіонального значення. [28]

3.4 Схеми виробництва



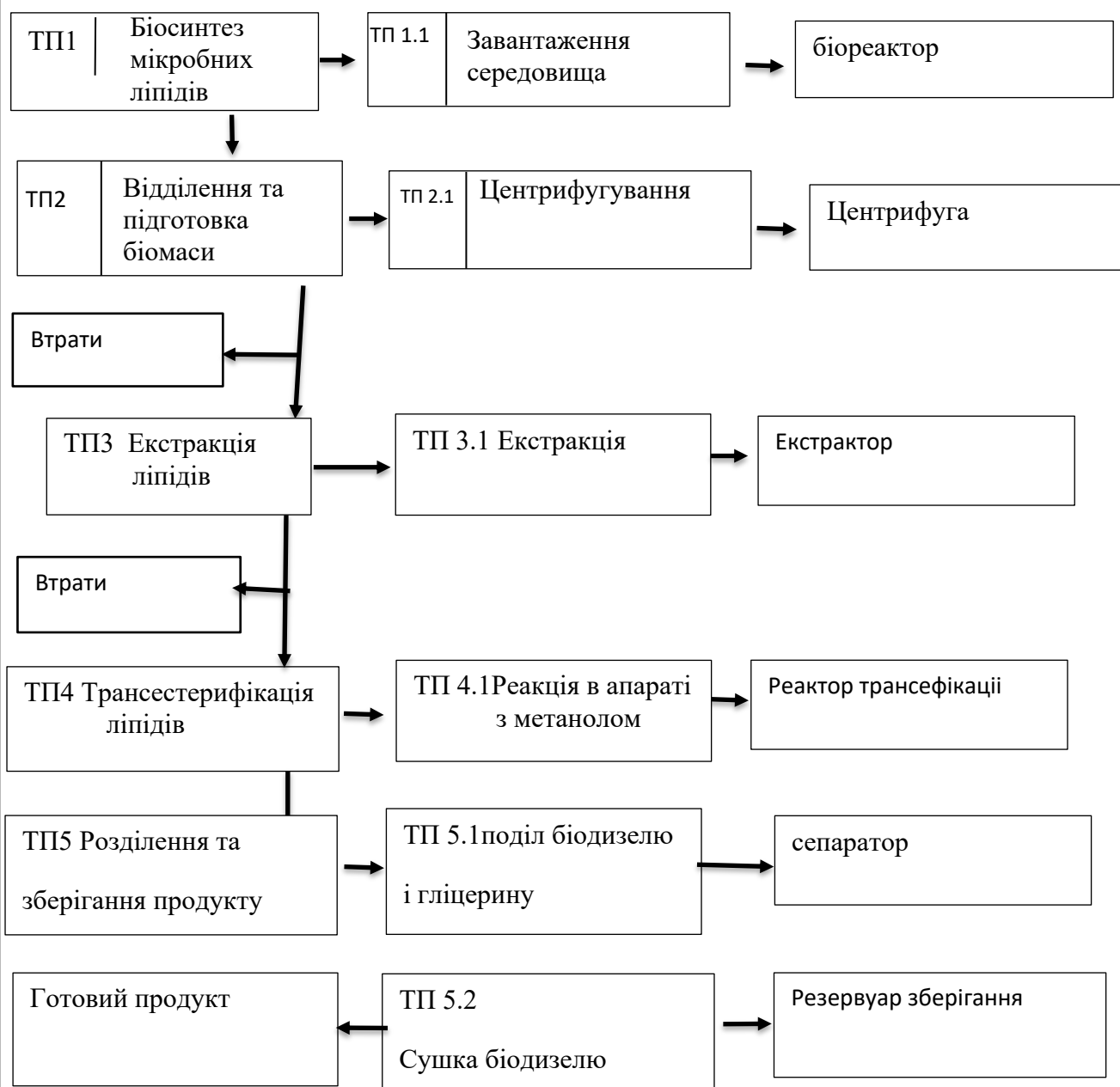


Рис. 3.2 - Технологічна схема виробництва біодизелю з лушпиння соняшника

Система з'єднана трубопроводами, оснащена насосами, датчиками температури, тиску, рН і розчиненого кисню. Автоматизована SCADA-система координує роботу вузлів та здійснює моніторинг параметрів виробництва.

Технологічна схема виробництва біодизелю з лушпиння соняшника ґрунтується на поетапному проходженні сировини через низку механічних, термічних, хімічних і біотехнологічних операцій. Цей підхід дозволяє досягти ефективної трансформації агровідходів у високоякісне рідке паливо. В основі процесу лежить принцип безперервного або напівперіодичного потоку з поетапною обробкою компонентів на функціонально спеціалізованому обладнанні.

Специфікація обладнання, яке використовується у виробництві біодизелю з відходів сільськогосподарської продукції наведено у табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Специфікація обладнання, яке використовується у виробництві біодизелю з відходів сільськогосподарської продукції

Поз.	Найменування	Кільк.	Маса, кг	Приміт-ка
<i>1</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	Гідролізатор	1	1280	Н/сталь, з обігрівом
2	Фільтр-прес	1	940	Н/сталь, зворотний клапан
3	Біореактор	1	1150	AISI 316L, з рубашкою
4	Центрифуга	1	780	Вертикальна, 6000 об/хв
5	Сушарка вакуумна	1	1250	До 60°C, <10% вологи
6	Екстрактор	1	870	Гексановий цикл

7	Реактор трансестерифікації	1	910	3 мішалкою, 60°C
8	Сепаратор	1	660	Гравітаційний, вакуум
9	Резервуар зберігання біодизелю	1	1350	Герметичний, 5 м³

3.5 Критичні параметри виробництва

Процес виробництва біодизелю з лушпиння соняшника включає низку критичних параметрів, контроль і регулювання яких забезпечують стабільність, безпечність і ефективність усіх технологічних операцій. Критичні параметри охоплюють фізико-хімічні, мікробіологічні та інженерно-керовані умови. [\[29\]](#)

Таблиця 3.3 – Критичні точки та параметри контролю виробництва біодизелю з лушпиння соняшника

Назва стадії	Критичні точки	Періодичність контролю	Значення параметру	Метод контролю
Гідроліз	Температура, рН, тиск	Щохвилинно	120–130°C, рН 1.5–2.5, тиск до 2 бар	Датчики температури, рН-метр, манометр
Фільтрація	Тиск фільтрації	Після запуску кожної партії	3–5 бар	Манометр
Нейтралізація	рН	Кожна партія	6.0	Лабораторний рН-метр

Культивування дріжджів	Температура, рН, аерація, перемішування	Кожні 2 год	28–30°C, рН 5.5–6.0, 1–1.5 об/хв, 300 об/хв	Автоматизовані датчики
Центрифугування	Час, швидкість обертання	Кожна партія	6000 об/хв, 20 хв	Таймер, тахометр
Сушка біомаси	Температура, вологість	Кожна партія	до 60°C, <10%	Вологомір, термометр
Екстракція	Температура, час, співвідношення фаз	Щогодини	40–50°C, 4 год, 1:10	Термодатчик, годинник, контроль ваги
Трансестерифікація	Температура, час, співвідношення	Кожна партія	55–60°C, 2 год, 6:1, 1% NaOH	Температурний контроль, дозатори
Сепарація	рН, в'язкість, вміст води	Після кожного циклу	Відповідно до EN 14214	Лабораторні тести, ІЧ-спектрометр
Зберігання	Температура, герметичність	Щоденно	10–20°C, без доступу повітря	Температурні датчики, герметичність

Контроль вказаних параметрів забезпечується засобами автоматизації: датчиками температури, рН, розчиненого кисню, витратомірами, а також регулюючими клапанами, блоками управління та SCADA-системою. Дотримання технологічних меж критичних параметрів є запорукою

стабільної якості біодизелю та безпечності виробництва. в єдину систему керування дозволяє реалізувати контроль процесу в реальному часі, виявляти відхилення та своєчасно коригувати умови для досягнення максимальної продуктивності та стабільної якості біодизелю. [30]

3.6 Екологічні аспекти виробництва

Виробництво біодизелю з лушпиння соняшника характеризується низьким впливом на навколишнє середовище порівняно з традиційними методами отримання пального. Основні екологічні переваги даної технології полягають у використанні відходів рослинного походження, мінімальному утворенні токсичних побічних продуктів і можливості повторного використання залишків. [33]

- Утилізація сільськогосподарських відходів Технологія дозволяє ефективно переробляти лушпиння соняшника, що є масовим агровідходом в Україні. Замість спалювання або вивезення на полігони, лушпиння використовується як сировина, що зменшує навантаження на довкілля.

- Зменшення викидів парникових газів Біодизель має низький вуглецевий слід. Його спалювання супроводжується меншим викидом CO₂, ніж у випадку дизельного пального з нафти. Додатково, біомаса під час вирощування асимілює CO₂, чим компенсує викиди.

- Відсутність токсичних залишків Процес не передбачає використання високотоксичних реагентів або важких металів. Речовини, що застосовуються (гексан, метанол, NaOH), є контрольованими та підлягають регенерації або безпечній утилізації.

- Регенерація розчинників Гексан, що використовується для екстракції ліпідів, після процесу підлягає конденсації та повторному використанню. Це мінімізує кількість летких органічних сполук, що потрапляють у повітря.

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Мінімізація рідких і твердих відходів Всі залишкові потоки (нерозчинні рештки після гідролізу, відпрацьована біомаса після екстракції) можуть бути компостовані або використані як добриво. Водні стоки нейтралізуються та можуть бути скинуті в систему очищення після доочистки.

- Безпечність для персоналу та середовища Система автоматизованого контролю виключає перевищення температур, тиску або витоку реагентів. Апарати мають теплоізоляцію та герметичні контури.

- Вплив на довкілля Впровадження таких виробництв у сільських регіонах стимулює екологічно орієнтовану переробку агровідходів, знижує навантаження на поля, скорочує споживання викопного палива та підвищує загальний рівень екобезпеки регіону. [32]

Таким чином, виробництво біодизелю на основі агровідходів відповідає принципам циркулярної економіки, зменшує антропогенний тиск на екосистему та сприяє переходу до більш сталої енергетики. датчиками температури, рН, розчиненого кисню, витратомірами, а також регулюючими клапанами, блоками управління та SCADA-системою. Дотримання технологічних меж критичних параметрів є запорукою стабільної якості біодизелю та безпечності виробництва. в єдину систему керування дозволяє реалізувати контроль процесу в реальному часі, виявляти відхилення та своєчасно коригувати умови для досягнення максимальної продуктивності та стабільної якості біодизелю. [31]

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі було розглянуто організацію виробництва біодизелю з відходів сільськогосподарської продукції (лушпиння соняшника) — від вибору сировини до екологічної оцінки запропонованого процесу. Використання агровідходів як джерела вуглецевої сировини є ефективним прикладом поєднання екологічного та економічного підходів у розвитку сучасної біотехнології.

У роботі виконано аналітичний огляд сучасного стану ринку біопалив та методів мікробного синтезу ліпідів, охарактеризовано основні типи сировини й біологічні об'єкти, зокрема дріжджі *Yarrowia lipolytica* як ефективний продуцент ліпідів.

Здійснено обґрунтування технологічного процесу з поділом на ключові стадії: підготовку сировини, гідроліз, фільтрацію, ферментацію, екстракцію ліпідів, трансестерифікацію та очистку біодизелю. Для кожної стадії визначено відповідне обладнання, критичні параметри та вимоги до контролю процесу. Розраховано матеріальний баланс та обрано основний апарат виробництва — біореактор СБР-1000, з описом його конструкції та розрахункових параметрів.

Особливу увагу приділено екологічним аспектам виробництва: повторне використання сировини, зниження викидів CO₂, регенерація розчинників, очищення стічних вод та зменшення впливу на довкілля. Процес орієнтований на замкнутий цикл і відповідає принципам циркулярної біоекономіки.

Таким чином, розроблений технологічний підхід є практично реалізованим, екологічно безпечним та енергетично доцільним для умов аграрного сектору України. Його впровадження дозволить оптимізувати використання сільськогосподарських відходів, зменшити залежність від

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

викопного палива і створити нові можливості для розвитку біоенергетики в країні.

Виробництво біодизелю з лушпиння соняшника характеризується низьким рівнем впливу на навколишнє середовище завдяки використанню вторинної сировини, енергоефективним процесам та мінімізації шкідливих викидів. Це робить його перспективним напрямком сталого розвитку енергетики та аграрного сектору України. Використання лушпиння соняшника як основної сировини зменшує кількість відходів, що зазвичай накопичуються на елеваторах та олійних підприємствах. Така переробка сприяє вирішенню проблеми надлишкових органічних відходів у сільській місцевості та запобігає загрозі забруднення ґрунтів і підземних вод.

Біодизель, отриманий з біомаси, має нейтральний вуглецевий баланс, оскільки вуглець, який виділяється при його згорянні, раніше був абсорбований рослинами під час фотосинтезу. В результаті викиди CO₂ значно нижчі, ніж у традиційного дизпального. Також спостерігається зниження викидів сажі, чадного газу та сірки.

У процесі виробництва біодизелю не використовуються важкі метали або токсичні каталізатори. Гексан та метанол, які застосовуються як екстрагент та реагент, підлягають повторному використанню після рекуперації, що знижує ризики для здоров'я персоналу та навколишнього середовища.

Виробництво біопалива із відходів сприяє розвитку зеленої економіки в регіонах, створенню нових робочих місць, залученню місцевих аграріїв до постачання сировини, що зменшує навантаження на природні ресурси та зміцнює місцеві громади.

Таким чином, запропонована технологія виробництва біодизелю з агровідходів не лише зменшує антропогенний вплив на довкілля, але й реалізує принципи сталої екологічної безпеки, ресурсозбереження та замкненого циклу біоекономіки.

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шувар І. Переваги і недоліки біодизелю. 18 верес. 2015. *Агробізнес сьогодні*. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8374-perevahy-i-nedoliky-biodyzeliu.html> (дата звернення: 20.01.2025).
2. Проектування вуглецево-нейтральної енергосистеми України: Збільшення використання біопалива й біомаси в Україні. 31 берез. 2023. URL: https://unece.org/sites/default/files/2023-08/UNECE_RES_Bio_2023_FINAL%20Final%28UA%29.pdf (дата звернення: 20.01.2025).
3. П'янікін В. А. Обґрунтування процесу виробництва дизельного біопалива в сільському господарстві / Поліський національний університет. URL: https://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/11188/1/Pianikin_VA_KR_208_2021.pdf (дата звернення: 20.01.2025).
4. Калетнік Г. М., Пришляк Н. В. Розвиток галузі біопалив як детермінанта сталого розвитку України. *Економіка АПК*. 2021. № 2. С. 71–81. URL: <https://eapk.com.ua/en/article/read/rozvitok-galuzi-biopaliv-yak-determinanta-ctalogo-rozvitku-ukrayini> (дата звернення: 20.01.2025).
5. Григорук І. І. Механізм стимулювання розвитку біоенергетичного напрямку в сільськогосподарських підприємствах / Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника. 2020. URL: https://svr.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/5/2020/10/dis_Hryhoruk.pdf (дата звернення: 20.01.2025).
6. Дудар І. Еколого-економічна оцінка та шляхи підвищення ефективності виробництва біодизеля з насіння ріпаку / Тернопільський національний економічний університет. 2019. URL: <https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/17260/1/Дудар.pdf> (дата звернення: 20.01.2025).

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Назаренко А. В. Моделі розміщення виробництва біопалива / Вінницький національний аграрний університет. 2017. URL: <https://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/10241.pdf> (дата звернення: 20.01.2025).
8. Сахошко В. В. Технології отримання біопалива з сільськогосподарських олійних культур / Сумський державний університет. 2021. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/85632/1/Sahoshko_bac_rob.pdf (дата звернення: 20.01.2025).
9. Фесенко І. В. Технології утилізації сільськогосподарських відходів / Сумський державний університет. 2012. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/85631/1/Fesenko_bac_rob.pdf (дата звернення: 20.01.2025).
10. Третьяков В. В. Паливо з сільськогосподарських відходів / Одеський державний екологічний університет. 2019. URL: https://eprints.library.odeku.edu.ua/6053/1/Tretyakov%20V.V.B_2019.pdf (дата звернення: 20.01.2025).
11. Управління біоенергетичним потенціалом сільськогосподарських підприємств та організація виробництва біодизелю / Вінницький національний аграрний університет. 2021. URL: <https://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/17926.pdf> (дата звернення: 20.01.2025).
12. Стратегічний потенціал сільськогосподарських відходів як сировини для виробництва біопалива в Україні / Д. Токарчук та ін. 2012. *ResearchGate*. URL: https://www.researchgate.net/publication/357307368_Strategic_Potential_of_Agricultural_Waste_as_a_Feedstock_for_Biofuels_Production_in_Ukraine (дата звернення: 20.01.2025).
13. Україна може замінити 30% дизелю власним виробленим біопаливом. 2022. URL: <https://brdo.com.ua/en/analytics/ukrayina-mozhe-zaminyty-30-dyzelyu-vlasnym-vyroblenym-biopalyvom/> (дата звернення: 20.01.2025).

- 14.Можливості використання залишків біомаси у відновлюваній енергетиці. 2021. URL: https://www.nefco.int/wp-content/uploads/2021/03/Finland-Ukraine-TF_Fact-sheet-Utilisation-of-biomass-residues-with-Annexes.pdf (дата звернення: 20.01.2025).
- 15.Біоенергетичний потенціал аграрного сектору і промисловості - джерело енергетичної стійкості України / Національний інститут стратегічних досліджень. URL: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/bioenerhetychnyy-potentsial-ahrnaroho-sektoru-i-promyslovosti-dzherelo> (дата звернення: 20.01.2025).
- 16.Biofuel from agricultural waste: A review / P. Awasthi et al. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2015. Vol. 4(1). P. 470–477. URL: <https://www.ijcmas.com/vol-4-1/Pragati%20Awasthi%2C%20et%20al.pdf> (Date of access: 20.01.2025).
- 17.Advancing Sustainable Biofuel Production from Agricultural Residues / M. Haroon et al. *Sustainable Chemical Engineering*. 2023. Vol. 1(1). P. 118–130. URL: <https://ojs.wiserpub.com/index.php/SCE/article/download/3763/1819/39748> (Date of access: 20.01.2025).
- 18.Castello D., Haider M. S., Rosendahl L. A. Catalytic upgrading of hydrothermal liquefaction biocrudes: Different challenges for different feedstocks. arXiv preprint arXiv:1904.04629. 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1904.04629> (Date of access: 20.01.2025).
- 19.Uyaroğlu A., Kocakulak T., Aydoğan B. Investigation of the Effects of Biodiesel Produced from Crambe Abyssinica Plant on Combustion, Engine Performance and Exhaust Emissions. arXiv preprint arXiv:2212.12159. 2022. URL: <https://arxiv.org/abs/2212.12159> (Date of access: 20.01.2025).
- 20.Isikgor F. H., Becer C. R. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. arXiv preprint arXiv:1602.01684. 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1602.01684> (Date of access: 20.01.2025).

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- 21.Гринчук Н. В., Шаповалов В. М. Технології альтернативних видів палива. Київ : Центр учбової літ., 2020. 256 с.
- 22.Бабенко В. О., Мартиненко А. І. Біопаливо: сучасні технології та перспективи розвитку. Харків : ХНАУ, 2021. 224 с.
- 23.Могильний С. М. Біодизельне паливо: основи виробництва та застосування. Одеса : Астропринт, 2019. 176 с.
- 24.Пархоменко В. О., Шелестов С. В. Економіка та організація біоенергетичних виробництв. Київ : НУБіП України, 2020. 312 с.
- 25.Ковальчук І. В., Якубовський С. О. Альтернативні джерела енергії : навч. посіб. Львів : Львівська політехніка, 2018. 290 с.
- 26.Шаповал В. М. Технології переробки відходів сільського господарства. Вінниця : Нова книга, 2022. 198 с.
- 27.Гільчук О. І. Розробка екологічно безпечних методів виробництва біопального з відходів олійної сировини. *Вісник технологічного університету Поділля*. 2021. № 1. С. 45–49.
- 28.ДСТУ 7687:2015. Біодизельне паливо. Технічні вимоги. URL: <https://online.budstandart.com> (дата звернення: 20.01.2025).
- 29.Knothe G., Van Gerpen J., Krahl J. The Biodiesel Handbook. AOCS Press, 2015. 500 p.
- 30.United Nations Development Programme (UNDP). Bioenergy and Sustainable Development. URL: <https://www.undp.org> (Date of access: 20.01.2025).
- 31.Мала академія наук України : метод. рек. з розробки технологічних схем. Київ : МАНУ, 2021. 46 с.
- 32.Аналітичні огляди з енергоефективності в АПК. *Національна академія аграрних наук України*. URL: <https://naas.gov.ua> (дата звернення: 20.01.2025).
- 33.Biodiesel Production From Lignocellulosic Biomass Using Oleaginous Microbes: Prospects for Integrated Biofuel Production / A. D. Chintagunta et al. *Front. Microbiol.* 2021. Vol. 12. P. 658284. URL:

					162.02.11.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

<https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2021.658284/full> (Date of access: 20.01.2025).

					<i>162.02.11.00 000 ПЗ</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

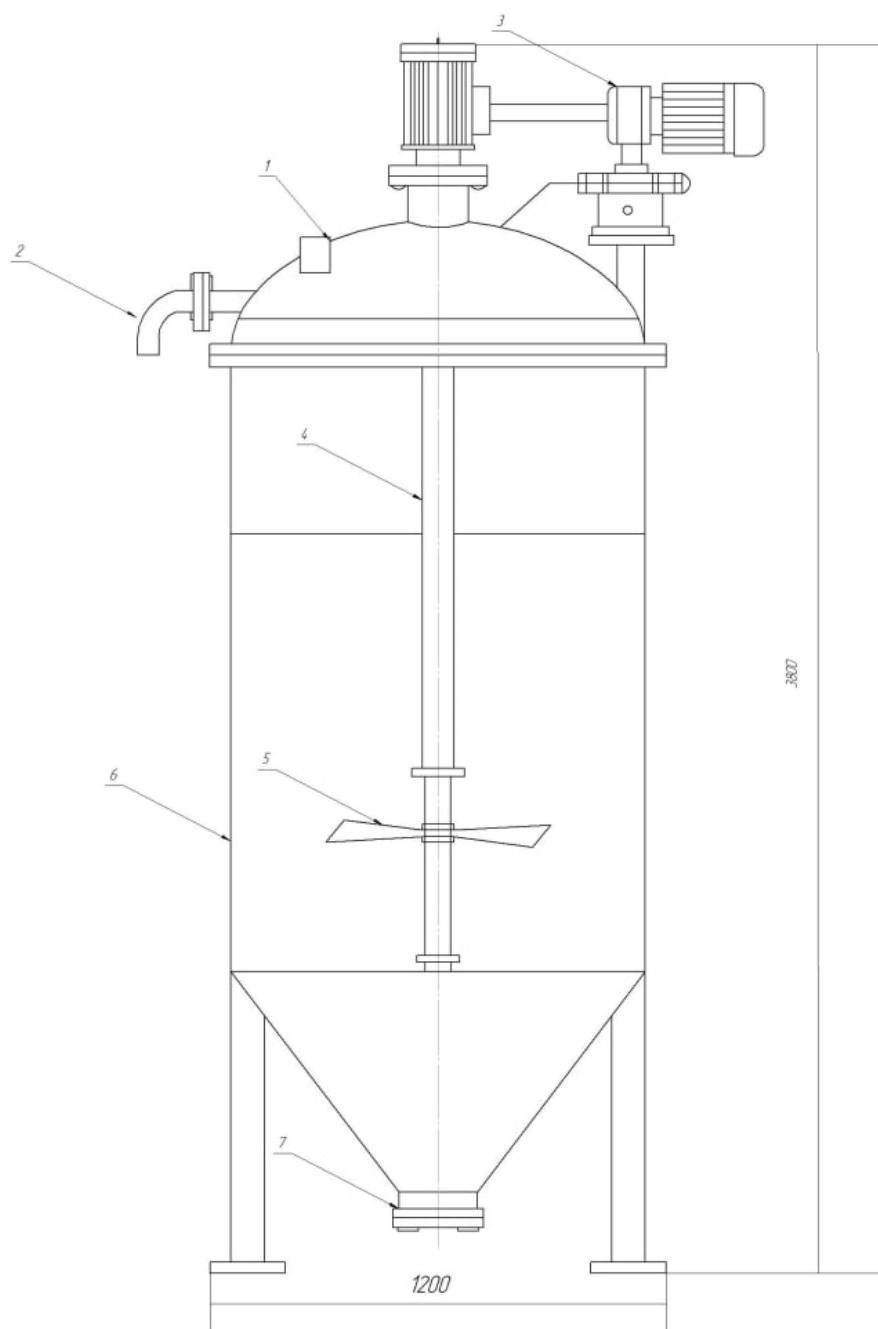
ДОДАТКИ



Ушбунга тармақлари	Ҳисобловчи томонидан қилинган ҳисоблар	Ҳисобловчи томонидан қилинган ҳисоблар
01	Билдирилган	Билдирилган
02	Билдирилган	Билдирилган
03	Билдирилган	Билдирилган
04	Азот	Азот
05	Билдирилган	Билдирилган
06	Дард	Дард
07	Ўқувчи томонидан	Ўқувчи томонидан
08	Ўқувчи	Ўқувчи
09	Билдирилган	Билдирилган
10	Қўрилган	Қўрилган
11	Ўқувчи томонидан	Ўқувчи томонидан

Получения	Назначение	Кл
п 1	подсобный	1
г 2	адресатор	1
ж 3	адресатор	9
ж 4	адрес	7
ж 5	адрес	1
ж 6	адрес	2
ж 7	адрес	2
ж 8	адрес	1
ж 9	адрес	1
ж 10	адрес	1
ж 11	адрес	1
ж 12	адрес	1
ж 13	адрес	1
ж 14	адрес	1
ж 15	адрес	1
ж 16	адрес	1
ж 17	адрес	1
ж 18	адрес	1
ж 19	адрес	1
ж 20	адрес	1
ж 21	адрес	1
ж 22	адрес	1
ж 23	адрес	1
ж 24	адрес	1
ж 25	адрес	1
ж 26	адрес	1
ж 27	адрес	1
ж 28	адрес	1
ж 29	адрес	1
ж 30	адрес	1
ж 31	адрес	1
ж 32	адрес	1
ж 33	адрес	1
ж 34	адрес	1
ж 35	адрес	1
ж 36	адрес	1
ж 37	адрес	1
ж 38	адрес	1
ж 39	адрес	1
ж 40	адрес	1
ж 41	адрес	1
ж 42	адрес	1
ж 43	адрес	1
ж 44	адрес	1
ж 45	адрес	1
ж 46	адрес	1
ж 47	адрес	1
ж 48	адрес	1
ж 49	адрес	1
ж 50	адрес	1
ж 51	адрес	1
ж 52	адрес	1
ж 53	адрес	1
ж 54	адрес	1
ж 55	адрес	1
ж 56	адрес	1
ж 57	адрес	1
ж 58	адрес	1
ж 59	адрес	1
ж 60	адрес	1
ж 61	адрес	1
ж 62	адрес	1
ж 63	адрес	1
ж 64	адрес	1
ж 65	адрес	1
ж 66	адрес	1
ж 67	адрес	1
ж 68	адрес	1
ж 69	адрес	1
ж 70	адрес	1
ж 71	адрес	1
ж 72	адрес	1
ж 73	адрес	1
ж 74	адрес	1
ж 75	адрес	1
ж 76	адрес	1
ж 77	адрес	1
ж 78	адрес	1
ж 79	адрес	1
ж 80	адрес	1
ж 81	адрес	1
ж 82	адрес	1
ж 83	адрес	1
ж 84	адрес	1
ж 85	адрес	1
ж 86	адрес	1
ж 87	адрес	1
ж 88	адрес	1
ж 89	адрес	1
ж 90	адрес	1
ж 91	адрес	1
ж 92	адрес	1
ж 93	адрес	1
ж 94	адрес	1
ж 95	адрес	1
ж 96	адрес	1
ж 97	адрес	1
ж 98	адрес	1
ж 99	адрес	1
ж 100	адрес	1

[illegible]



Перелік складових частин обладнання				
Знач.	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітки
1		Вхід субстрату	1	
2		Вхід газу	1	
3		Аероциліндр блок	1	
4		Ван пильовки	1	
5		Дозатор пильовки	1	
6		Корпус	1	
7		Вихід субстрату	1	

[illegible]

ВИРОБНИЦТВО БІОДИЗЕЛЮ З ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

Щербак М.О.

Науковий керівник: Соловійова А.В.

Національний фармацевтичний університет, Харків, Україна
soloviova.alina@gmail.com

Вступ. Біодизель виробляється з жирів, отриманих з різних джерел, наприклад, тваринних жирів, рослинних олій або перероблених жирів. У Сполучених Штатах Америки біодизель в основному виробляється з соєвих бобів, тоді як в Україні – з рослинних олій, найчастіше використовується ріпакова олія. Метиллові ефіри жирних кислот, мають лінійний ланцюг, що відрізняє їх від дизельного палива, отриманого з викопного палива, яке має розгалужені ланцюги. Це впливає на фізико-хімічні властивості біодизеля. Він має більшу в'язкість і більш чутливий до низьких температур. Біодизель – це продукт, що характеризується вищою температурою помутніння, більшим вмістом кисню, меншою стабільністю та нижчою енергетичною щільністю, ніж дизельне паливо, вироблене з нафти. Оскільки біодизель має властивості згоряння, подібні до викопного дизельного палива, він підходить для звичайних дизельних двигунів.

Мета дослідження. Метою дослідження є аналіз методів виробництва біодизелю з відходів сільськогосподарської продукції для організації виробництва на вітчизняному аграрному підприємстві.

Матеріали та методи. Матеріалами дослідження були публікації у наукових періодичних виданнях.

Результати дослідження. Виробництво біодизеля зазвичай включає хімічну реакцію, яка називається переестерифікацією, в якій тригліцериди реагують зі спиртом у присутності каталізатора з утворенням біодизеля і гліцерину. Бактерії мають властивості високої швидкості росту і легко піддаються генетичним маніпуляціям, що може бути позитивно використано для високого мікробіологічного виробництва олій. Загалом, бактерії не відомі високим рівнем накопичення ліпідів, за винятком деяких видів, наприклад, *Rhodococcus*, *Streptomyces* та *Mycobacterium*. Так було доведено, що бактерія *Rhodococcus opacus*, яка має здатність зберігати більше 80% тригліцеридів від своєї сухої біомаси, була вирощена виключно на відходах аграрної продукції досягла виробництва тригліцеридів до 59,26 мг/л за добу, що може бути ефективно використано для організації виробництва біодизелю.

Висновки. Розглянуто основні типи сировини, що застосовуються у виробництві, зокрема олійні культури, післязбиральні рештки, залишки після холодного пресування та фільтрації. Проаналізовано аспекти впровадження технології на підприємстві та доведено, що впровадження біодизельного виробництва сприяє зменшенню шкідливого впливу на довкілля, а також відкриває нові перспективи для розвитку регіональної енергетики. Зосереджено увагу на технологічному процесі виробництва біодизелю, який включає використання сільськогосподарських рештків та бактерій *Rhodococcus opacus*.

