

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року №384

Форма № Н-9.02

Львівський національний університет ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Факультет харчових технологій та біотехнологій

(повна назва факультету)

Кафедра біотехнологій та радіології

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

на тему: “Біотехнологія одержання біостанолу та біодизелю як
відновлювальних джерел енергії”

Виконала: студентка 4 курсу, групи 1
спеціальності

162 «Біотехнологія та біоінженерія»

Дикало Каріна Богданівна

(прізвище та ініціали)


Керівник: **доц. Ромашко І.С.**

(прізвище та ініціали)

Рецензент: **доц. Періг Д.П.**

(прізвище та ініціали)

Робота заслухана на засіданні кафедри біотехнологій та радіології і
рекомендована до захисту в ДЕК, протокол № 25 від 01.06. 2023 р.


Завідувач кафедри біотехнологій та радіології  проф. Василь БУЦЯК

Львів – 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і
науки, молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384
Форма № Н-9.01

Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій імені С.З. Гжицького
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення факультет харчових технологій та
біотехнологій
Кафедра, циклова комісія кафедра біотехнології та радіології
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
(шифр і назва)
Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри, голова циклової
комісії  Буцяк В.І.
“ 06 ” “ 02 ” 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ
Дикало Каріна Богданівна**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема бакалаврської роботи “ Біотехнологія одержання біоетанолу та біодизелю як відновлювальних джерел енергії”

Керівник бакалаврської роботи

Ромашко І.С., к.т.н., доц.

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

затвержені наказом вищого навчального закладу від 06 01 2023 року №31-4

2. Строк подання бакалаврської роботи 10.05.2023 року









3. Вихідні дані до бакалаврської роботи

Вихідні матеріали до виконання роботи: альтернативні відновлювальні джерела енергії, біопаливо, біоетанол, біодизель, принципово технологічна схема, оптимізація, безвідходне виробництво, субстрати (сировина) для виробництва біопалива, апаратурне забезпечення.

4. Зміст бакалаврської роботи (перелік питань, які потрібно розробити) вступ, огляд літератури, матеріал та методи досліджень, результати власних досліджень, висновки, список використаної літератури та додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень: графіки, діаграми, рисунки, технологічні схеми, технологічні лінії), рисунки: біоконверсійні технології переробки біомаси та органічних відходів у біопаливо, утворення етилового спирту шляхом гліколітичного перетворення глюкози, передумови розвитку поновлювальної альтернативної біоенергетики в Україні, технологічний процес одержання біодизелю. Технологічна схема переробки насіння ріпаку в дизельне паливо; схеми: принципова технологічна схема вирощування та переробки насіння ріпаку для одержання біодизелю, циклічна каталітична схема виробництва біодизелю, циклічна технологічна схема виробництва біодизелю із використанням розчинників без каталізаторів, принципова технологічна схема одержання біодизелю за циклічної технології із використанням каталізатора.

6. Консультанти розділів бакалаврської роботи

Розділ	Консультант ПІБ, посада	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1. Літературний огляд.	Ромашко І.С.		
2. Методика експерименту та основні методи досліджень.	Ромашко І.С.		
3. Експериментальна частина.	Ромашко І.С.		
5. Висновки	Ромашко І.С.		

7. Дата видачі завдання 06.02.2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання	примітка
1.	Літературний огляд.		
	I атестація:	10.04.23р.	30%
2.	Методика експерименту та основні методи досліджень.		20%
3.	Експериментальна частина.		35%
	II атестація:	20.04.23р.	55%
5.	Висновки		5%
	III атестація:	02.05.23р.	15%
	Допущено до захисту.	10.05.23р.	100%

Здобувач



Дикало Каріна Богданівна

Керівник магістерської роботи



(прізвище та ініціали)

Ромашко І.С.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	3
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1. Зарубіжний та вітчизняний досвід використання альтернативного палива	8
1.2. Використання поновлюваних альтернативних джерел енергії	13
1.2.1. Перспективи виробництва та використання біодизельного палива	15
1.2.2. Перспективи виробництва та використання біоетанолу в Україні	22
1.3. Екологічна безпечність використання в якості моторного палива біоетанол та біодизель	26
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
2.1. Технологічні особливості використання біодизелю як моторного палива	27
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	29
3.1. Класична технологія одержання біодизелю	29
3.1.1. Аналіз сучасних технологій виробництва біодизельного палива	32
3.2. Субстрати для виробництва біоетанолу	38
3.3. Оптимізація ферментного процесу виробництва біоетанолу	42
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	46
ДОДАТКИ	51

АНОТАЦІЯ

Робота написана на 53 сторінках комп'ютерного тексту. Складається із 3-ох розділів, вступу, висновку, списку використаної літератури, що містить 36 джерел та додатків. Містить 16 рисунків, 4 таблиці та 3 додатки.

Проведений аналіз літературних джерел щодо зарубіжних і вітчизняних перспектив виробництва та використання біодизелю та біоетанолу як альтернативних відновлювальних енергетичних ресурсів.

Подана характеристика принципів технологічних схем, сучасним технологіям, обладнанню та апаратурному забезпеченню виробництва альтернативного поновлювального біопалива (біодизель, біоетанол), а також запровадженню ресурсозберігаючих і безвідходних технологій щодо ферментації: зеленої маси злакових трав із значним вмістом легкозброджуючих цукрів, клітковини, крохмальвмісні культури, побічних відходів від переробки та органічних відходів у біоетанол.

Оптимізовано технологічний процес одержання біодизелю на початкових етапах переробки, а також модернізовано мішалку ферментеру для зброджування кукурудзяних початків, що забезпечило зростання на 5,4% виходу біоетанолу.

Ключові слова: альтернативні відновлювальні джерела енергії, біопаливо, біоетанол, біодизель, принципово технологічна схема, оптимізація, безвідходне виробництво, субстрати (сировина) для виробництва біопалива, апаратурне забезпечення.

Об'єкт дослідження – обладнання та апаратурне забезпечення технологічного процесу виробництва біопалива, органічні вуглеводні субстрати для зброджування.

Предмет дослідження – проаналізувати сучасний стан виробництва та використання альтернативних джерел енергії і оптимізувати окрему ланку технологічного процесу виробництва біоетанолу.

Метою роботи – аналіз сучасних технологій виробництва альтернативних поновлювальних джерел енергії, на базі яких передбачається оптимізація технологічних режимів та умов культивування в процесі виробництва біоетанолу.

Відповідно до мети вирішувались наступні **завдання**:

– проаналізувати доступну літературу та інтернет ресурси щодо сучасного стану виробництва та використання відновлювальних джерел енергії;

– опрацювати доступну інформацію про сировинний потенціал, сучасні технології, обладнання та апаратурне забезпечення щодо виробництва біодизелю і біоетанолу;

– обґрунтувати напрями оптимізації технологічного процесу одержання біодизелю на стадії змішування ріпакової олії із розчинником та стадії переетерифікації;

– навести принципові технологічні схеми щодо ферментації зеленої маси злакових трав із значним вмістом легкозброджуючих цукрів, клітковини, крохмальвмісної сировини, органічних та побічних відходів від переробки у безвідходних технологіях одержання біоетанолу;

– дослідити технологічні особливості субстрату з відходів кукурудзи в умовах переробки її продуцентами біоетанолу та модернізувати апаратурно-технологічну схему виробництва цільового продукту.

Актуальність теми. Із даних літератури відомо, що, наша країна належить до країн із значним дефіцитом власних енергетичних ресурсів. Власні енергоресурси покривають лише до 50% потреби нашої економіки, на

нафту припадає 12%, на природний газ – 30%. Враховуючи вищенаведену статистику, можна констатувати про перспективи загрози енергобезпеці країни.

На даний час, все частіше розглядається можливість залучення для потреб економіки альтернативних поновлювальних джерел енергії, які є відновлювальними за рахунок сонячної енергії, яку вони акумулюють. Дане питання слід розглядати в більш ширшому плані, а саме використання поновлювальних ресурсів, з одного боку, забезпечує енергоносіями, а з іншого вирішує глобальні екологічні проблеми.

Тому розробка, використання та вдосконалення технологій щодо використання альтернативних поновлювальних джерел енергії (біодизелю та біоетанолу) – одне з актуальних завдань сьогодення.

Науковий внесок роботи. Теоретично обґрунтовано доцільність оптимізації технологічного процесу одержання біодизелю на першій стадії, а саме поступового змішування ріпакової олії із розчинником (газовий конденсат), а потім до їх суміші додавати каталізатор (5% натрію етилату розведеного в етанолі), на стадії переетерифікації необхідно застосовувати гетерогенні тверді каталізатори, які забезпечують одностадійний енергозберігаючий процес.

Практична цінність роботи зводиться до того, що в процесі теоретичних досліджень був вибраний ферментер, наведений опис апаратурно-технологічної схеми виробництва біоетанолу за ферментації початків кукурудзи в безперервному безвідходному процесі. На основі експериментальних досліджень було модернізовано мішалку ферментеру, що забезпечило зростання на 5,4% виходу біоетанолу.

ВСТУП

Однією із головних завдань, які на даний час та на перспективу є особливо актуальними є забезпечення нашої країни енергоресурсами. Як свідчать прогнози провідних спеціалістів, потреба України у викопних вуглеводнях (нафтопродуктах) до 2030 року зросте та буде складати біля 25-29 млн. т на рік [1].

Власні запаси вуглеводнів у нашій країні обмежені, видобуток їх незначний і за прогнозами їх вистачить на найближчі сорок років. Через те, нашій державі щорічно необхідно імпортувати вуглеводневу сировину, бензин та дизпаливо на суму вищу за 9 мільярдів доларів США. Однак, основні експортери вуглеводнів, постійно корегують ціну на бариль нафти у бік зростання в зв'язку із зменшенням її природних запасів. Розраховано, що видобування нафти, такими темпами призведе за 100-150 років до суттєвого зменшення або повного зникнення цього природного енергетичного ресурсу [2-3].

Одним із важливих напрямків вирішення даної проблеми, проблеми енергозабезпечення є поступова заміна викопних джерел енергії на альтернативні поновлювальні джерел енергії, зокрема, біодизель та біоетанолу. Субстратом для виробництва біодизелю, в основному, є рослинна олія (поновлювальна сировина), відходи харчової промисловості – тваринні жири тощо.

Україна, як аграрна держава, має значний потенціал земельних ресурсів, а також земельні угіддя, які малопридатні для вирощування продуктів харчування та кормів для тваринництва. Вищезазначені земельні угіддя можуть бути використані під технічні олійні культури, в тому числі, ріпак [4].

Сучасні технології дозволяють використовувати ріпак за безвідходною технологією, а саме солону можна використати на виробництво паперу, паливні брикети для одержання енергії в котельнях. З ріпакового насіння в процесі переробки можна одержати ріпакову олію,

різноманітні оливи, трьохатомний спирт гліцерол для фармакопейної промисловості, корма для тваринницької галуззі і, звичайно, біодизельне паливо.

На даний час, активно запроваджують технології щодо виробництва біодизелю (метилового естеру вищих жирних кислот) ріпакової олії країни ЄС, де розміщені і працюють понад сорока крупно масштабних підприємств із понад 7,0 мільйони тон біопалива в рік. Ці заводи здатні переробити більше ніж 14 млн. тон ріпакового насіння, значну кількість якого поставляє Україна. В перспективі країни Західної Європи можуть переробляти 20 і більше мільйонів тон на рік насіння ріпаку. Виробництво та використання метилових естерів вищих жирних кислот ріпакової олії замість класичного дизельного палива є економічно обґрунтованим [5].

Нині, в нашій країні, виробництво біодизелю в промислових масштабах не відбувається через відсутність конкурентоспроможного технологічного та апаратурного забезпечення одержання біодизелю. Біопаливо (метилові естери вищих жирних кислот ріпакової олії) в нашій країні, в основному, одержують на не великих підприємствах з метою використання його як добавки до дизельного палива для сільськогосподарської техніки [6].

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Зарубіжний та вітчизняний досвід використання альтернативного палива

В останній час, бурхливого розвитку набув напрямок виробництва та використання у світі відновлювальних джерел енергії (біоетанолу та біодизелю тощо), оскільки викопні ресурси енергоносіїв постійно вичерпуються [4, 5]. Відомо, що розроблені стратегічні глобальні плани поступового переходу на альтернативні джерела енергії. Однак, цей процес поступовий і відносно довготривалий (рис.1.1).

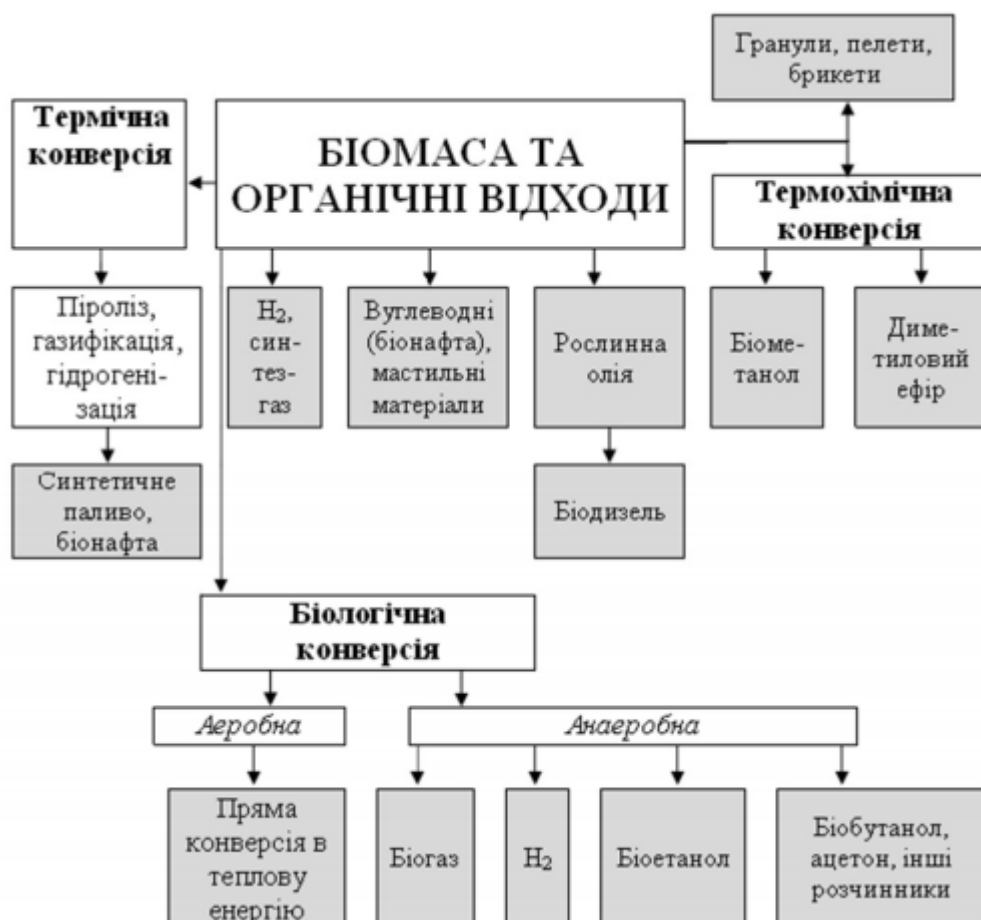


Рис. 1.1. Біоконверсійні технології переробки біомаси та органічних відходів у біопаливо

На сьогодні, згідно із статистичними даними, відбувається поступова заміна викопних джерел енергії – альтернативними. Переробка світових запасів рослинної олії на біодизель може замінити 3% використання

дизельного палива. Що стосується біоетанолу, то переробка річної кількості запасів технічного зерна забезпечить біля 12% використання палива для карбюраторних двигунів [8, 9].

Кожного року, все більше країн прискорюють темпи виробництва альтернативних джерел енергії. Так, країни Західної Європи, в найближчій перспективі, планують до 2030 року збільшити використання альтернативних джерел енергії та довести їхню частку в загальному балансі до 30% із них 15% за рахунок використання біопалива. Ці амбітні плани вони планують реалізувати за рахунок збільшення посівних площ, врожайності енергетичних культур, а також із запровадженням інтегрованих інноваційних технологій на базі клітинної та генетичної інженерії [11] (рис.1.2).

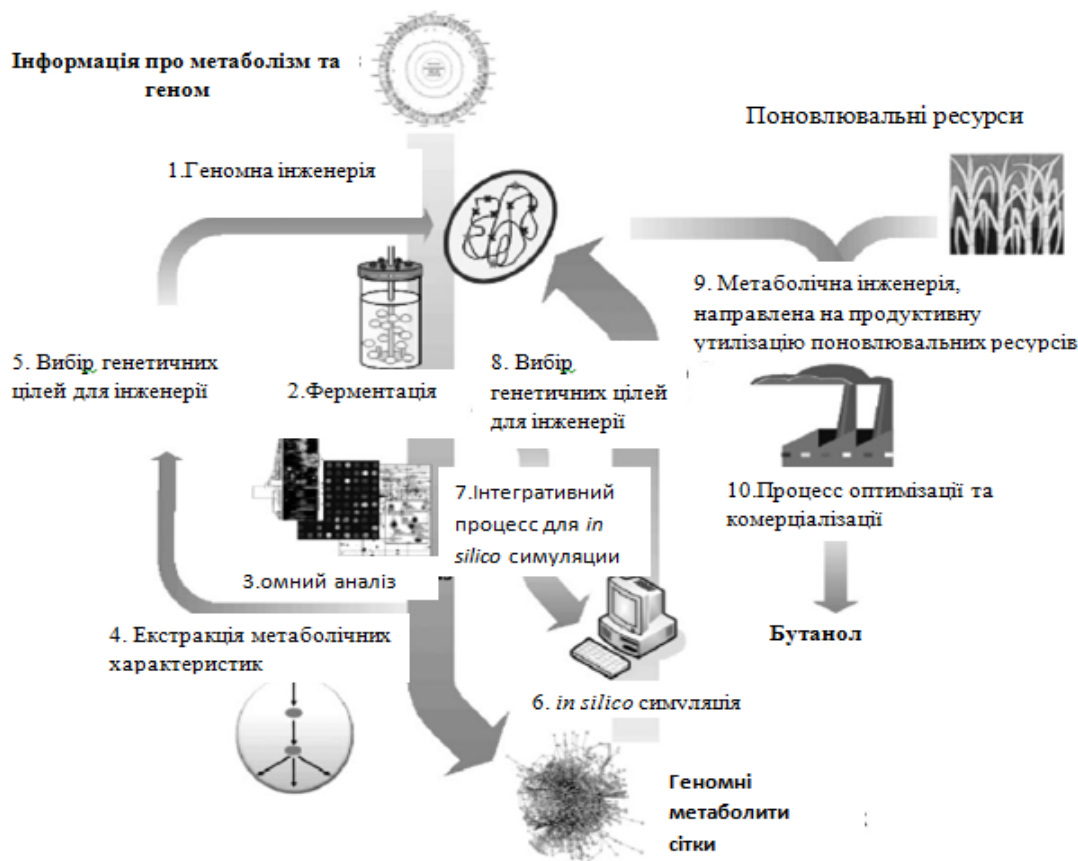
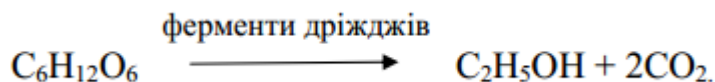


Рис. 1.2. Використання клітинної та генетичної інженерії в інтегрованому біопроекті виробництва альтернативних джерел енергії.

Одним із важливих джерел поновлювальної енергетики є етиловий спирт, який одержаний із рослинної біомаси або як його ще називають – біоетанол. За фізико-хімічними властивостями біоетанол – це 100% етанол без домішків води. В основному, на 94% етиловий спирт одержують шляхом ферментації дріжджами легкозброджуючих цукрів за схемою:



З хімічної точки зору, процес утворення етилового спиру із моноцукридів відбувається за загальною схемою гліколізу (рис.1.3) [10]:

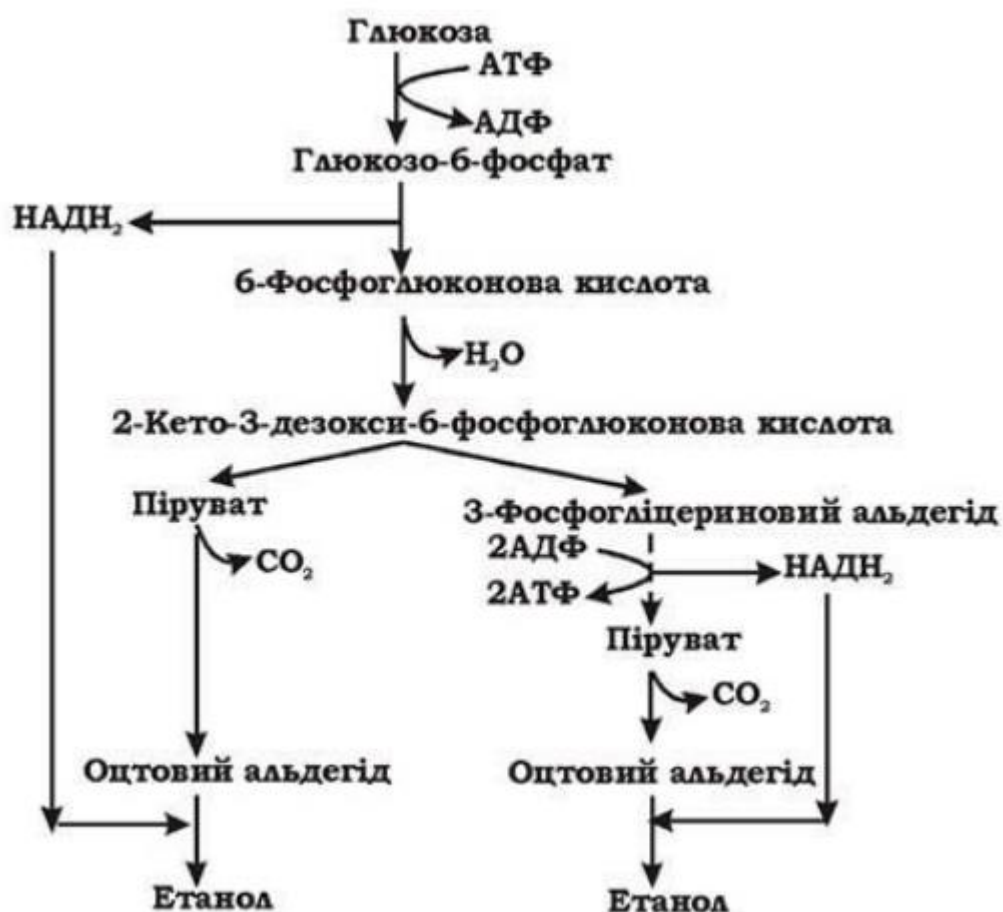


Рис. 1.3. Утворення етилового спирту шляхом гліколітичного перетворення глюкози.

Щорічно світове виробництво етилового спиру зростає, в основному, за рахунок паливного біоетанолу. Так, на долю біоетанолу припадає 62,5%;

хімічної промисловості 25,0% та на харчові цілі – 12,5% від всього обсягу виробленого етилового спирту [12, 16].

Біоетанол і біобутанол можна виробляти як з рослинної сировини (кукурудзи, пшениці, цукрових буряків, цукрової тростини, сорго та ячменю), так і з вуглеводних відходів сільськогосподарських культур (сухі стебла соняшнику, качани кукурудзи або різні види соломи).

Сировиною в цій технології можуть слугувати рослини, що містять крохмаль – полісахарид, який легко розкладається на прості вуглеводи (глюкозу). Це, наприклад, злакові культури (пшениця, кукурудза, сорго), а також картопля. При цьому ферментним джерелом бродіння, крім відомих видів дріжджів, можуть бути активні групи бактерій, які при температурі 40 °С й вище здатні розкласти складні ланцюги полісахаридів (целюлозні волокна бавовнику, соломи, відходи фуражу, відходи деревини) на простіші цукри (пентози, глюкозу), а потім утворювати спирт [6].

До речі, на підприємствах США з тонни старого картону або соломи шляхом гідролізу целюлози й подальшого її зброджування за допомогою мікроорганізмів отримують 150 л спирту, для порівняння, з тієї самої кількості цукрової тростини виходить 60–65 л цього продукту. Використання модифікованих штамів мікроорганізмів, активних при температурі 65-75°C, дозволяє виготовляти етиловий спирт та інші продукти практично з усіх видів органічних відходів сільського господарства, лісової промисловості й цукрових заводів.

На сьогодні мікробіологічне виробництво біоетанолу налагоджене в США, Японії, Німеччині, Франції, Швеції, Австралії та в інших країнах. У США й Бразилії потужність заводів, що виготовляють паливний етанол, перевищує 200 тис. л на добу. Біоетанол з екологічного погляду вважається більш прийнятним за бензин: він менше забруднює навколишнє середовище, має вище октанове число, краще стискається. Серед автомобілістів США набув поширення газохол (суміш 9 частин бензину та 1 частини етанолу) [7].

В таблиці 1.1 наведена порівняльна фізико-хімічна та енергетична характеристика біопалива (бутанолу, етанолу та метанолу) та бензину.

Таблиця 1.1

Порівняльна фізико-хімічна та енергетична характеристика різних видів палива

Властивості	Види палива			
	Бутанол	Бензин	Етанол	Метанол
Точка кипіння (°C)	117-118	27-221	78	64,7
Щільність при 20 °C (г/мл)	0,8098	0,7–0,8	0,7851	0,7866
Розчинність в 100 г води	-	-	+	+
Щільність енергії (МДж·л ⁻¹)	27-29,2	32	19,6	16
Вміст енергії/значення (БТЕ/галон)	110000	115000	84000	76000
Співвідношення повітря та паливо	11,2	14,6	9	6,5
Теплота паротворення (МДж/кг)	0,43	0,36	0,92	1,2
Рідкі теплоємності (Ср) на СТП	178	160-300	112,3	81,14
Теоретичне октанове число	96	91-99	129	136
Моторне октанове число	78	81-89	102	104
Коефіцієнт розподілу октанол/вода (як $\log r_{o/v}$)*	0.88	3,52	- 0,31	- 0,77
Дипольний момент (полярність)	1,66	-	1,7	1,6
В'язкість (10 ⁻³ Па)	2,593	0,24-0,32	1,078	0,5445

1.2. Використання поновлюваних альтернативних джерел енергії

З метою повноцінного забезпечення потреб промисловості та населення енергоресурсами в Україні розробляються і впроваджуються технологічні рішення щодо використання альтернативної енергетики. Для вирішення цієї проблеми залучаються все нові технології, а саме використовується потенціал вітру, річок, сонця, біомаси тощо (рис.1.4).

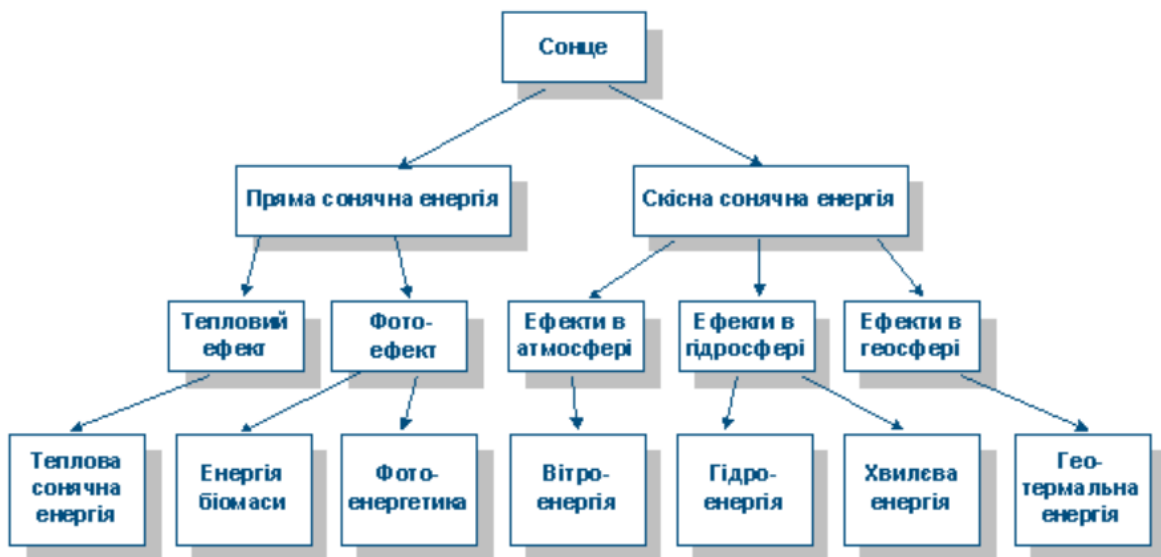


Рис. 1.4. Основні джерела альтернативних енергетичних ресурсів

Переоумовою розвитку поновлювальної альтернативної біоенергетики в Україні наведено на рис.1.5 [14].

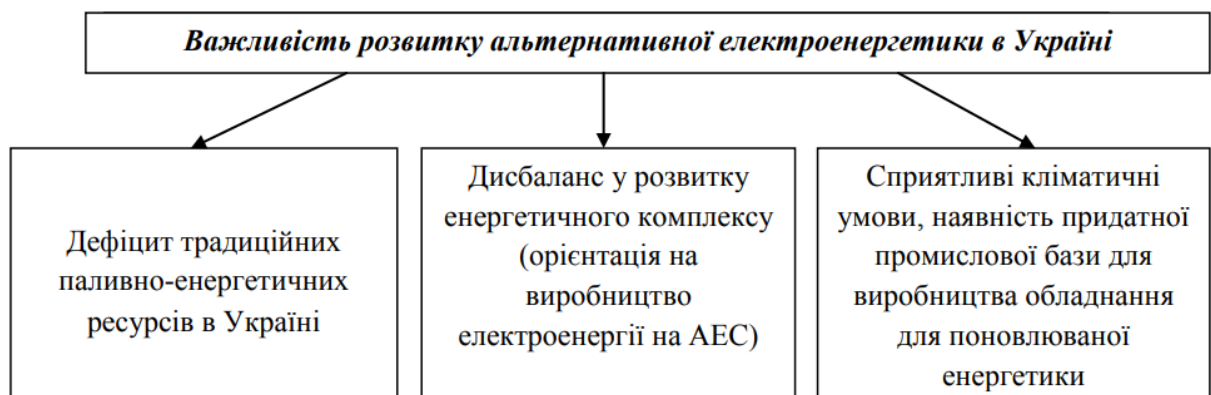


Рис. 1.5. Передумови розвитку поновлювальної альтернативної біоенергетики в Україні

До переваг альтернативних джерел енергії відносяться такі аспекти:

1. Альтернативні джерела енергії використовують невичерпні та вичерпні відновлювані природні ресурси, що є однією з головних умов стійкого економічного розвитку.

2. Альтернативні джерела енергії спричиняють значно менший вплив на навколишнє природне середовище, для більшості характерна відсутність хімічного та теплового забруднень, відходів.

3. Ресурси для альтернативних джерел енергії, на відміну від традиційних джерел, розміщені рівномірно. Їх можна отримувати децентралізовано, що зменшує концентрацію економічних ресурсів та капіталу і збільшує економічну свободу держав [18].

Наша країна має велику кількість органічної біомаси, в тому числі органічних відходів, переробка якої може забезпечити 25 мільйонів тон умовного палива за рік. Із сільськогосподарських відходів (50 мільйонів тон), які щорічно утворюються, 15 мільйонів тон можна використовувати на одержання біопалива. Динаміку використання біопалива отриманого від біоконверсії біомаси та органічних відходів одержаної впродовж 2017-2020 років наведено на рис.1.6.

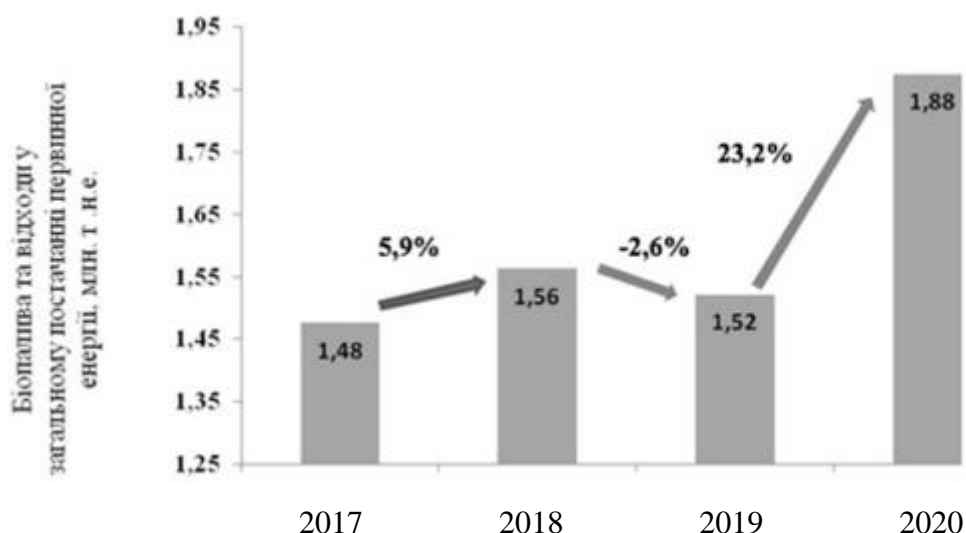


Рис. 1.6. Динаміка одержання енергетичних ресурсів із відновлювальних джерел.

1.2.1. Перспективи виробництва та використання біодизельного палива

Перспективи виробництва та використання біодизельного палива обумовлена вимогою часу щодо енергетичної безпеки та екологічного стану довкілля. Сировиною для виробництва біодизелю є поновлювальні за рахунок енергії сонця енергетичні рослинні культури, які в процесі агровиробництва можуть відновлюватися кожного року. Поряд із тим, одержане біопаливо, зокрема, біодизель після переробки ріпакової олії досить швидко, впродовж тижня, на 96% піддається утилізації штамами мікроорганізмів. Дизельне паливо, одержане із вуглеводнів піддається деструкції мікроорганізмами лише на 15% [16]. Схема процесу отримання біодизельного палива наведена на рис. 1.7.

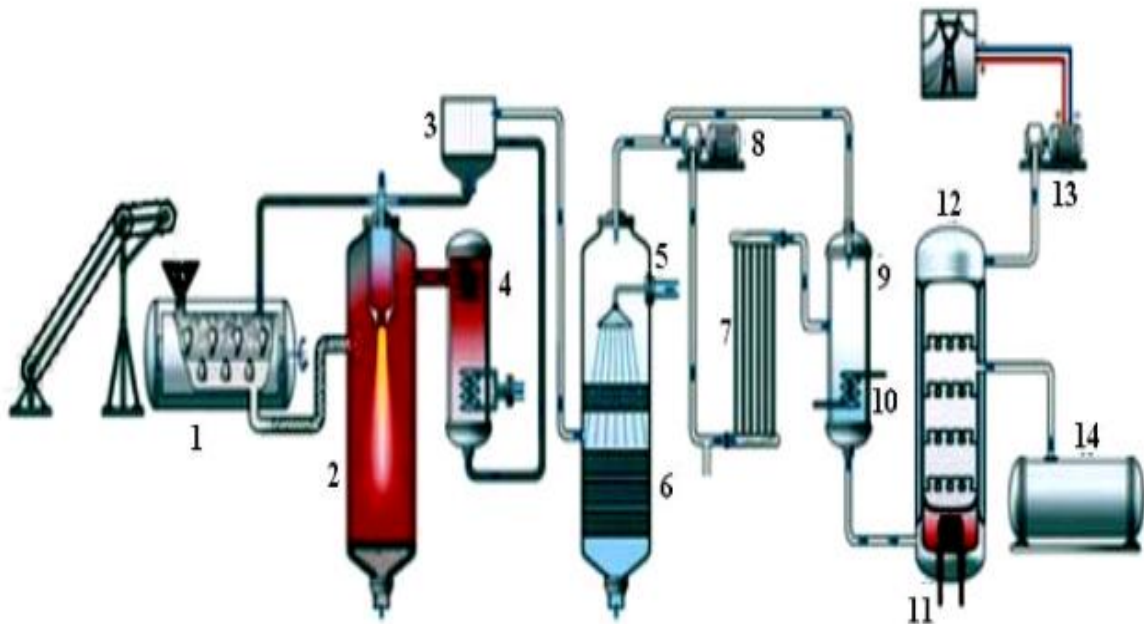


Рис. 1.7. Технологічний процес одержання біодизелю:

1 – низькотемпературний газовий генератор; 2 – високотемпературний реактор; 3 – пиловий фільтр; 4 – теплообмінник; 5 – подача води; 6 – сепаратор; 7 – багатотрубчастий реактор; 8 – газовий компресор; 9 – конденсор; 10 – система охолодження; 11 – нагрівач; 12 – дистиляційний резервуар; 13 – газовий електрогенератор; 14 – резервуар із ГОТОВИМ ПАЛИВОМ

До початку повномасштабної війни, яку розпочала росія, в Україні працювало біля 50-ти невеликих заводів із виробництва біодизелю з виробничими потужностями біля 30 тисяч тонн [16]. Сировиною слугували олійні культури, які вирощували на даній території, а також органічні відходи сільськогосподарського виробництва. Крім того, на даний час, розроблено технології щодо одержання біодизельного палива III покоління, тобто при використанні як базової сировини – мікроводоростей.

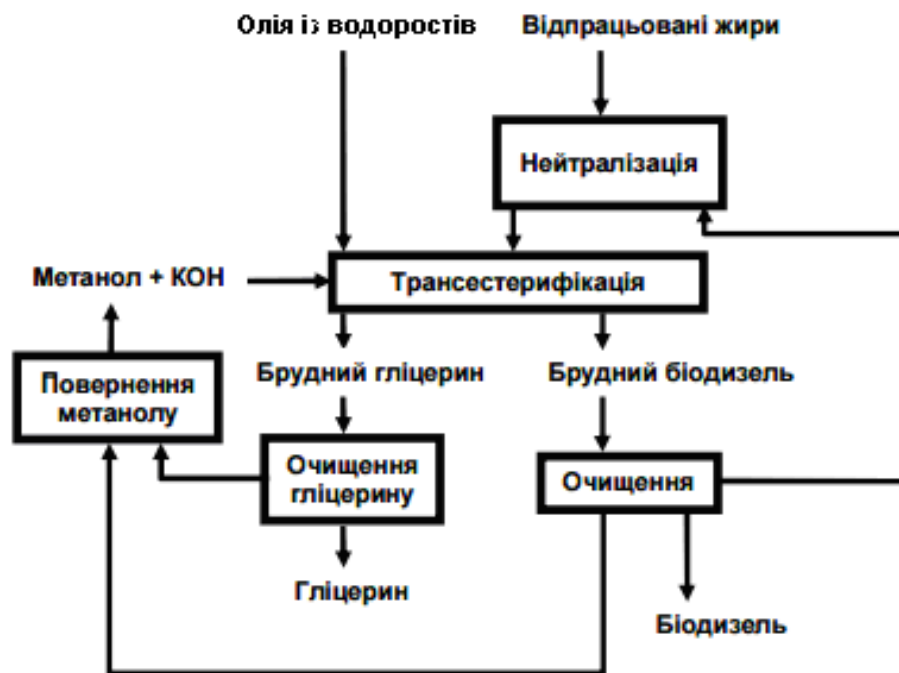


Рис. 1.8. Принципова технологічна схема одержання біодизелю III покоління із використанням водоростів.

Спочатку насіння рослин подрібнюють і відділяють олію від шроту (відходів олійно-екстракційного виробництва), потім її змішують з метанолом у середовищі каталізатора (метоксиду натрію).

Далі процес нагрівання напівфабрикату ініціює реакцію утворення метилових ефірів жирних кислот, суміш яких охолоджують, дистиллюють і очищають від домішок. Ученими було доведено, що витрати на вирощування енергетичних культур у перерахунку на еквівалент енергії в десятки разів нижчі, ніж витрати на видобування енергоносіїв із традиційних джерел.

Традиційний технологічний процес одержання біодизелю із олії ріпакового насіння проходить у трьох основних стадіях: на перших двох, очищену ріпакову олію нагрівають до заданої температури, готують каталізатор – розчин КОН або NaOH в метиловому спирті та змішують його у заданій пропорції із метиловим спиртом, потім проходить процес утворення метилових естерів вищих жирних кислот [17].

По закінченню даного процесу, після сепарування та очистки одержуємо біопаливо, гліцерол та інші відходи, що за технічними характеристиками не відповідають задекларованим стандартам. Інтенсивність процесу одержання метилових естерів вищих жирних кислот триває 20 – 60 хвилин, що вказує на низьку продуктивність процесу.

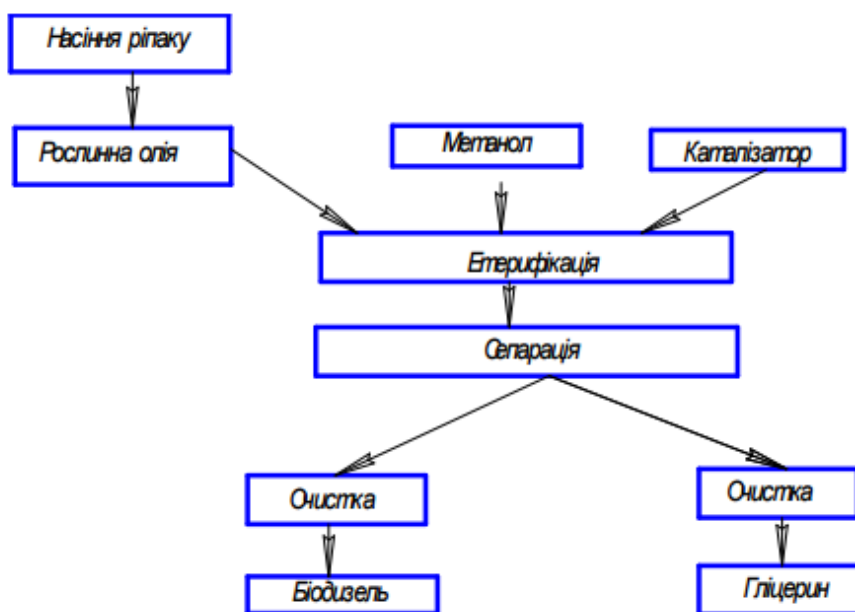


Рис. 1.9. Традиційна технологічна схема виробництва біодизельного пального

Для того, щоб позбутися вказаних недоліків було запропонована додаткова операція [18], яка передбачала використовувати в процесі нагрівання олії для її очищення адсорбуючі хімічні речовини. Запровадження додаткової операції значно підвищила якість кінцевих та побічних продуктів, які були в межах відповідних стандартів. Ефективність технологічного

процесу зроста майже у два рази, що забезпечило зниження його собівартості на 18-22% та зростання рентабельності виробництва (рис 1.10).

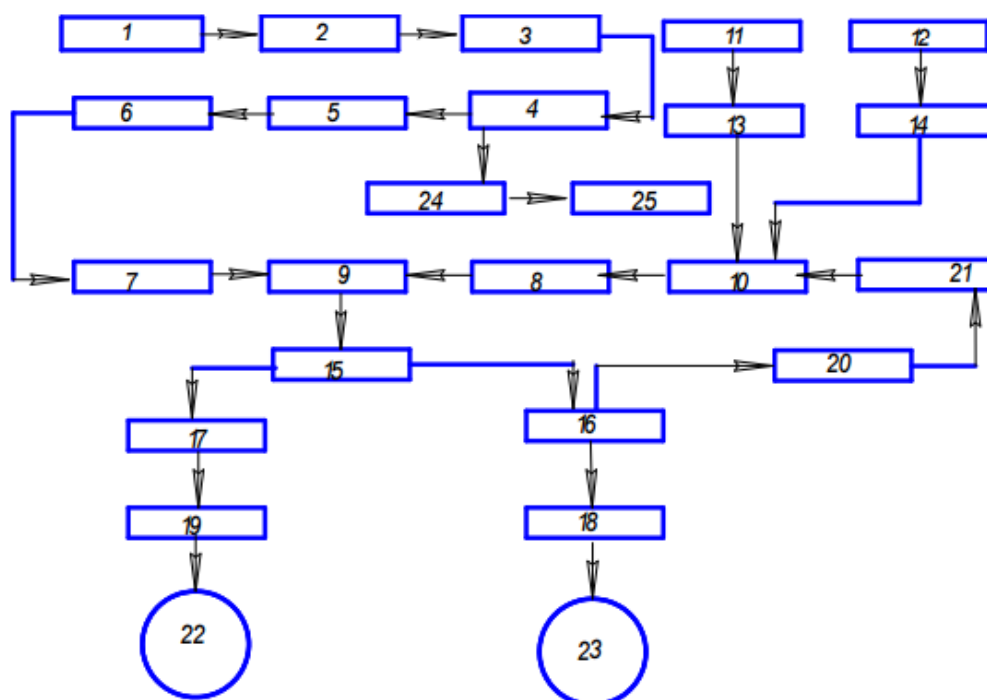


Рис. 1.10. Технологічна схема переробки насіння ріпаку
в дизельне пальне:

1 – доставка насіння ріпаку; 2 – висушування насіння; 3 – складування; 4 – пресування насіння; 5 – накопичення олії у збірник ємкості; 6 – механічне фільтрування – очищення олії; 7 – нагрівання та абсорбційно – хімічна обробка і видалення малих компонентів; 8 – змішування – підготовка каталізатора; 9 – етерифікація; 10 – дозування та облік витрат метанолу та гідроокису калію чи натрію; 11 – складування метанолу на тривалий час; 12 – складування гідроокису калію, натрію на тривалий час; 13 – складування метанолу на одні сутки; 14 – складування гідроокису калію чи натрію на одні сутки; 15 – відстоювання продуктів етерифікації; 16 – відбір дизельного пального; 17 – відбір гліцерину; 18 і 19 – механічне фільтрування, відповідно, дизельного пального та гліцерину; 20 – видалення залишків метанолу із середовища дизельного пального; 21 – конденсації пари метанолу та повернення в дозуючий агрегат; 22 і 23 – збірні резервуари для зберігання гліцерину та дизельного пального, відповідно; 24 – переробка макухи після пресування насіння ріпаку у комбікорми; 25 – складування комбікормової продукції.

Біодизельне пальне – альтернативне поновлювальне біопаливо, яке одержане із ріпакової олії, порівняно із дизелем отриманого із вуглеводнів,

має важливу екологічну перевагу, а саме при згорянні біопалива виділяється та кількість вуглекислоти, що й асимілювалося, а це не сприяє парниковому ефекту. У табл. 1.2 показана динаміка речовин, які утворюються в процесі використання однакової кількості дизельного біопалива.

Таблиця 1.2.

Витрати або емісія речовини на 100 л палива

Показник	Дизельне паливо	Біодизельне паливо
Видобуток нафти, вирощування ріпаку, виробництво палива, транспортування		
Показник	Дизельне паливо	Біодизельне паливо
Витрати нафти, л	117	20
Виділення CO ₂ , кг	38	45
Виділення шкідливих для оточуючого середовища газів (як еквівалент CO ₂), кг	15	11
Виділення SO ₂ , кг	0,17	0,06
Спалювання		
Виділення CO ₂ , кг	265	Немає CO ₂ із нафти
Виділення шкідливих для оточуючого середовища газів (як еквівалент CO ₂), кг	58	57
Виділення SO ₂ , кг	0,33	–

Як паливо, суміш метилових ефірів триацилгліцеролів через високе цетанове число володіє доброю здатністю до запалювання. Дана температура запалювання (понад 100°C) є відмінною характеристикою для його зберігання та транспортування. Біодизель не є шкідливим для тварин та рослин, він майже повністю піддається біодеградації [19, 21].

Порівняно із дизельним паливом біодизель на основі ріпакової олії має значні переваги, а також недоліки (табл. 1.3).

Переваги та недоліки використання ріпакової олії в якості
біодизельного палива

<i>Основні переваги:</i>
<ul style="list-style-type: none"> - воно майже не містить сірки, тому його використання зменшує викиди в атмосферу сірчаного ангідриду (на 1 тис. т у разі заміни 250 тис т дизпалива з нафти такою ж кількістю біодизелю з ріпаку); - при спалюванні біодизелю не підсилюється парниковий ефект, оскільки ріпак, як і вся біомаса, є CO₂ – нейтральним; - високий ступінь біологічного розкладу за відносно короткий період. Згідно з міжнародним тестом СЕС L-33А-93, за 21 день біологічний розклад сягає 90%; - зменшується концентрація шкідливих речовин у вихлопних газах. Зокрема, димність газів зменшується вдвічі, а концентрація СО, Н₂С і твердих частинок, особливо сажі, знижується на 25-50%; - як продукт переробки рослинної сировини, біодизель не містить канцерогенних речовин, таких як поліциклічні ароматичні вуглеводні та, особливо, бензапірен; - ріпакова олія відзначається більшим, порівняно з дизельним паливом, вмістом кисню (11% та 0,4% відповідно). Тому для повного згорання 1 кг ріпакової олії потрібно менше, ніж для дизельного пального, повітря (12,9 та 14,45 кг відповідно).
<i>Основні недоліки:</i>
<ul style="list-style-type: none"> - знижена теплота згорання, що спричиняє падіння потужності двигуна до 16%. Якщо ж віднести нижню теплоту згорання до 1 л, то різниця між показниками біодизелю і традиційного дизпалива дорівнюватиме лише 5,8% завдяки більшій щільності ріпакової олії, її негативною властивістю є також велика в'язкість, що погіршує розпилювання, сумішоутворення і згорання в дизелі. Це спричиняє відкладення на стінках камери згорання, а отже швидкий вихід двигуна з ладу. Крім того, мають місце жирові відкладення в каналах паливної апаратури [32]. - збільшення витрати пального. При цьому потрібно часто замінювати масляні фільтри й проводити регламентні роботи на форсунках через значне закоксування отворів розпилювачів. Зазначені недоліки можна подолати, застосовуючи: двигуни спеціальної конструкції (для роботи на чистій ріпаковій олії), РМЕ, який за своїми моторними властивостями близький до дизельного пального, суміші з вмістом 20% олії.

В процесі використання біодизельного палива на автомобільних двигунах зменшуються викиди шкідливих продуктів згоряння, таких як Сульфур – на 97%, оксиду Карбону (II) – на 28–32%, продуктів не повного згоряння (сажі) на 53–62% тощо. За використання умовних 100 одиниць біодизельного палива в атмосферне повітря викиди вуглекислоти знизяться на 78 умовних одиниць, порівняно за використання дизельного палива [20, 22].

Європейські проекти, які виконувалися довгий час, показали неминучість підвищення конкурентної здатності біопалива та зближення його ціни з викопними паливами вже в наступному десятиріччі. В Україні це джерело самозабезпечення енергоносіями має велику перспективу в районах, забруднених радіонуклідами в результаті катастрофи на Чорнобильській АЕС. У процесі вирощування ріпак не потребує великих затрат праці, всі агрозаходи механізовані, а сама рослина здатна очищати поле від радіонуклідів, не нагромаджуючи їх у насінні. Отже, ріпак можна впроваджувати для рекультивації забруднених земель, використовуючи насіння для одержання біодизеля [13].

1.2.2. Перспективи виробництва та використання біоетанолу в Україні

Однією із важливих зобов'язань України для вступу в Європейський Союз є використання біопалива в процесі приготування моторного палива для карбюраторних і дизельних двигунів. Для України, яка активно просувається євроінтеграційним курсом, це є вимога часу [23, 28].

З приводу цього – на розгляд Верховної Ради підготовлено законопроект „Про внесення змін до Закону України „Про державне регулювання виробництва і обігу спирту етилового, коньячного і плодового, алкогольних напоїв та тютюнових виробів” стосовно встановлення норми обов'язкового споживання (використання) біоетанолу при виробництві бензинів моторних”.

Над законопроектом тепер серйозно працюють фахівці. Пропонують навіть доповнити його статтею, яка встановлювала б для всіх виробників моторних бензинів в Україні норми обов'язкового використання біоетанолу [15]. За недотримання цих норм передбачено штраф – 200 відсотків вартості невикористаного біоетанолу (за оптово-відпускними цінами), але не менш як 500 тисяч гривень.

В Україні в рік використовується біля 6,0 мільйонів тон бензину на потреби автотранспорту, із них понад 800 тисяч тон для потреб сільського господарства. Якщо 10% автомобільного пального замінити біоетанолом, то можна зменшити 600 тисяч тон бензину одержаного з викопних вуглеводнів. Для реалізації постанови Кабміну від 3 серпня 2005 року в Україні було перепрофільовано 15 спиртових заводів, які спеціалізувалися на виробництві біоетанолу. Впродовж реалізації державної програми „Біоетанол”, за період 2000 -2005 роки, було отримано 60 тисяч тон біоетанолу [24, 27].

За оптимального використання наявних потужностей спиртових заводів, на даний час, є можливість виробляти до 300 млн л біоетанолу щороку, не враховуючи спирту, який використовується в харчовій промисловості. Ці розрахунки стосуються лише, коли використовується в технологічному процесі класична сировина із легкоферментуючих

вуглеводів, що складає приблизно 0,5% акумульованої енергії біомаси. За розрахунками спеціалістів, 9% первинної енергії можна одержати за рахунок біомаси рослин та органічних відходів переробки [35].

Нині, спиртові заводи, вивчають різноманітну сировину для виробництва біоетанолу: зелену масу кукурудзи, зерно кукурудзи, мелясу та патоку – побічних продуктів переробки цукрових буряків у цукор. Досліджують економічну ефективність та доцільність використання того чи іншого субстрату для переробки (табл. 1.4).

Таблиця 1.4

Економічні затрати на виробництво біоетанолу

Назва показника	Тип сировини	
	Кукурудза	Меляса
Витрати антропогенної енергії при виробництві сировини для біоетанолу за типовими технологіями	50591МДж/га=15566 МДж/т (При урожайності кукурудзи 32,5 ц/га)	4,5 МДж/т
Витрати енергії по сировині на 1 т біоетанолу	15 566x2,9=41141 МДж/т біоетанолу	4,5x4,22=19 МДж/т біоетанолу
Витрати енергії при виробництві біоетанолу	11 424 МДж/т	9 440 МДж/т
Всього енергії на виробництво 1 т біоетанолу	56 565 МДж/т	9 459 МДж/т
Кількість енергії, отриманої при використанні 1 т біоетанолу	30 000 МДж/т	30 000 МДж/т
Енергетичний вихід від виробництва 1 т біоетанолу	-26 565 МДж/т	20 541 МДж/т
Енергетична ефективність виробництва 1 т біоетанолу	-	68,5%

На табл.1.4. наведена динаміка економічних затрат в технологічних процесах виробництва біоетанолу із зерна кукурудзи та меляси відходів переробки цукрових буряків. В процесі переробки заданих базових субстратів є відмінності, а саме при переробці мелясу відсутня технологічна операція – водно-теплової обробки, яка є досить затратна, питомі витрати

енергії менші, що є економічно доцільним використовувати саме цю сировину.

На даний час, шляхом експериментальних досліджень встановлено, що додавання до бензину 15% за об'ємом біоетанолу не вимагає конструкційних змін у сучасних карбюраторних двигунах. У різних країнах є свої рекомендації щодо заміни частки бензину на біоетанол як марки А, так й марки Б: 10% (США) та 8% (Канада) до 5-6% (Франція, Польща) [29].

Таблиця 1.5

Характеристика біоетанолу марок А і Б

№№ п/п	Назва показника	Норма показника	
		Марка А	Марка Б
1	Зовнішній вигляд та колір	Прозора безбарвна рідина або світло жовтого забарвлення	
2	Густина за температури (20±0,1) ⁰ С, кг/м ³	від 787 до 792	
3	Об'ємна частка води, %, не більше	0,2	
4	Масова концентрація сухого залишку, мг/дм ³ , не більше	100	
5	Об'ємна частка спирту етилового (органічних кисневмісних сполук), %, не менше	97,8	98,3
6	Об'ємна частка метанолу, %, не більше	1,0	
7	Об'ємна частка циклогексану, %, не більше	0,5	-
8	Масова частка кислот, у перерахунку на оцтову кислоту, %, не більше	0,007	
9	Масова концентрація вищих спиртів С ₃ - С ₅ , г/дм ³ , не більше	12,0	
10	Об'ємна частка бензину (вуглеводнів), %	від 1,0 до 1,5	
11	Масова частка сірки, мг/кг, не більше	10,0	
12	Масова концентрація фосфору, мг/дм ³ , не більше	0,5	
13	Масова частка міді, мг/кг, не більше	0,1	
14	Масова концентрація неорганічних хлоридів, мг/дм ³ , не більше	20,0	

Завдяки використанню сумішевого бензину зменшується концентрація шкідливих компонентів у вихлопних газах (чадного газу, закису азоту, оксиду азоту та інших летких токсичних викидів). Так, вміст оксиду вуглецю зменшується на 25%, вуглеводнів і оксидів азоту на 5%, що надзвичайно важливо для великих міст, де головним джерелом забруднення є автомобільний транспорт. Спалювання етанолу, отриманого з біомаси, не робить «внеску» до парникового ефекту, оскільки біомаса є CO_2 – нейтральною. Нині весь паливний етанол отримується методом зброджування цукрів (цукрова тростина) або сировини з вмістом крохмалю (в основному кукурудза).

Впровадження у виробництво конкурентоспроможних сучасних технологій щодо викорисання альтернативних, поновлювальних джерел енергії, зокрема біоетанолу, сприятиме ринку збуту енергетичних культур рослин, зростання робочих ресурсів, а з ними розвитку інфраструктури сільської місцевості. А головне – зменшення дефіциту енергетичних ресурсів [32-34].

1.3. Екологічна безпечність використання в якості моторного палива біоетанол та біодизель

У процесі виготовлення біоетанолу шляхом бродіння й подальшого його спалювання в повітря виділяється така сама кількість діоксиду вуглецю, що до цього була засвоєна рослинами з атмосфери в період їх життєдіяльності. А тому вважається, що біоетанол має нульовий баланс CO₂ і є нейтральною з погляду утворення парникових газів речовиною. Оксиген, який входить у структуру етанолу, дозволяє повноцінно спалювати вуглеводневі палива. Наприклад, додавання до бензину 10 % етанолу скорочує наполовину кількість вихлопів аерозольних частинок і на 30 % знижує викиди CO в атмосферу [25].

Тільки протягом 2016 року застосування етанолу автомобілістами США дозволило знизити надходження в повітря парникових газів майже на 8 млн т (в перерахунку на CO₂), що приблизно дорівнює річній кількості викидів від 1,21 млн автомобілів. І ще одна важлива перевага біодизельного палива – воно вважається екологічно безпечним для біоти. У природних умовах цей продукт практично повністю утилізується мікроорганізмами (за 28 днів у процесі мікробної конверсії переробляється до 99 % біодизельного палива), що дозволяє мінімізувати забруднення річок та озер. Крім того, виробництво й використання біодизельного палива сприяє зменшенню викидів CO₂. На відміну від звичайного дизельного, це паливо майже не містить сірки, що забезпечує його екологічну чистоту.

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Технологічні особливості використання біодизелю як моторного палива

В сучасних умовах економічного розвитку, наша країна, лише на 12-14% забезпечується енергоресурсами власного виробництва, а решту зобов'язана імпорувати. Зрозуміло, що викопний запас енергоресурсів має свій ліміт, тому провідні держави світу, в тому числі й Україна, активно працюють над виробництвом і використанням альтернативних джерел енергії [31].

Таблиця 2.1

Європейський стандарт на біодизельне паливо EN 14214:2003

Параметр	Значення		Метод тестування
	мін.	макс.	
Цетанове число	51		EN ISO 5165
Масова частка ефіру, %	96,5		EN 14103
Густина за температури 15 °С, кг/м ³	860	900	EN ISO 3675 і 12185
В'язкість за температури 40 °С, мм ² /с	3,5	5	EN ISO 3104
Температура спалаху, °С	120		ISO / CD 3679
Масова концентрація сірки, мг/кг		10	EN ISO 20846 і 20884
Вуглецеві залишки (у 10 % залишку), %		0,3	EN ISO 10370
Масова частка сульфурованої золи, %		0,02	ISO 3987
Масова концентрація води, мг/кг		500	EN ISO 12937
Масова концентрація механічних домішок, мг/кг		24	EN 12662
Корозія мідної пластинки (3 год за 50 °С)	Клас 1		EN ISO 2160
Стабільність до окислення за температури 110 °С, год	6		EN 14112
Кислотне число, мг КОН/г		0,5	EN 14104
Йодне число		120	EN 14111
Масова частка, %			
метилового ефіру ліноленової кислоти		12	EN 14103
поліненасичених метилових ефірів		1	
метанолу		0,2	EN 14110
моногліцеридів		0,8	EN 14105
дигліцеридів		0,2	EN 14105
тригліцеридів		0,2	EN 14105
вільного гліцерину		0,02	EN 14105 і 14106
гліцерину, загалом		0,25	EN 14105
Масова концентрація лужних металів (Na + K), мг/кг		5	EN 14108 і 14109
Масова концентрація фосфору, мг/кг		10	EN 14107

Одним, серед таких поновлювальних видів палива є біодизельне паливо. Використання його в Європі регламентовано Стандартом EN 14214 (табл.2.1). Виробництво та використання біодизелю в Європі відбувається за двома технологічними підходами: “німецьким” та “французьким”.

Суть німецького підходу зводиться до використання біодизелю як моторного палива для сільськогосподарської техніки в чистому вигляді в фермерських господарствах. Це малопотужні підприємства, які в рік виробляють 400-4000 тон на рік біодизельного палива. На потужних підприємствах країни виробляється біопаливо (біодизель), який на 20-50% додають до дизельного палива, таку суміш використовують для адаптованих двигунів фірми Дойц Фар. Біля 1800 автозаправних станцій продають більше 1,3 млн т біодизельного пального з ріпакової олії в рік [30].

За “французьким варіантом” головним споживачем біопального є автотранспорт, зокрема автобуси, проїзд яких у деяких великих містах і в окремих провінціях на традиційному дизельному пальному заборонений. При цьому штрафи за недотримання норм викидів токсичних речовин перевищують різницю вартості біодизелю і дизпалив. Виходячи з такої схеми, біодизель у Франції виробляється в основному централізовано на потужних установках – 5-10 тис т/рік. Використання біодизеля здійснюється як добавка до звичайної солярки із доведенням добавки до 5-відсоткової концентрації [26].

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Класична технологія одержання біодизелю

Технологічний процес щодо одержання біодизелю, органічного палива, яким можна успішно замінити класичне дизельне пальне, на перший погляд, є досить простим (рис.3.1).

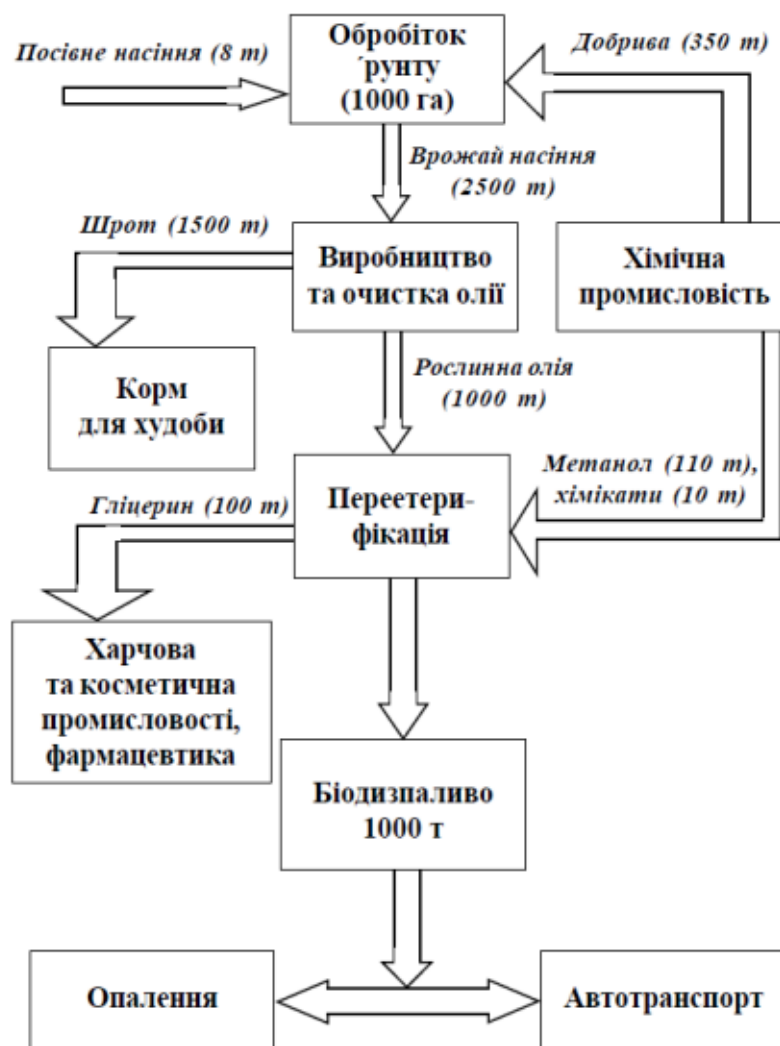


Рис. 3.1. Принципова технологічна схема вирощування та переробки насіння ріпаку для одержання біодизелю.

За хімічним складом, одержана олія із насіння ріпаку є сумішшю триацидгліцеролів, які є похідними естерів високомолекулярних жирних кислот та гліцеролу. Основним технологічним завданням в процесі отримання біодизелю є заміна трьохатомного спирту – гліцеролу на одноатомні спирти (етанолу, метанолу, ізопропанолу, бутанолу тощо). Даний

технологічний процес називається переестерифікація, він характерний для технологій одержання біодизелю з рослинних та тваринних жирів.

В результаті естерифікації утворюються ефіри жирних кислот (біодизель) та побічний продукт переестерифікації – трьохатомний спирт гліцерол у складі гліцеролової фази (в неочищеному стані його називають гліцериллом, а саму гліцеролову фазу – так званим «чорним» гліцерол). Отже, під час реакції естерифікації рослинного жиру нижчим жирним спиртом (найчастіше – метиловим) утворюються складні ефіри, а також гліцеролова фаза, хімічний склад якої такий: гліцерин – 56 %, метанол (етанол) – 4%, жирні кислоти – 13 %, вода – 8 %, неорганічні солі – 9%, складні ефіри – 10%.

Із 1 тонни олії та 0,1 тонни метанолу виробляють орієнтовно 1 тонну біодизелю та 0,1 тонну гліцеролу. Якщо отриманий біодизель має низьку температуру спалаху, це свідчить про недостатність очищення від метанолу. Для запобігання мікробному псуванню біодизеля на стадії очищення і стабілізації біопалива використовують паливні присадки (біоциди), та проводять зневоднення готового продукту, обробку ультразвуком.

При використанні етанолу буде отримано етилові естери біодизелю. Етанолова та ізопропанолова технології складніші (вимагають наявності каталізаторів та апаратури, яка б могла працювати при високому тиску).

Найпоширенішим для виробництва метилових ефірів є використання метанолу, оскільки він є найдешевшим зі спиртів. Під час реакції переестерифікації олії та жири вступають у реакцію з метиловим (етиловим) спиртом у присутності каталізатора (лугу), внаслідок чого утворюються складні ефіри (біодизель), а також гліцеролова фаза, що містить 45-56% гліцерину, 4% метанолу, що не прореагував, 13% жирних кислот, 8% води, 9% неорганічних солей, 10% ефірів. Одержану в результаті реакції суміш розділяють в сепараторах або ємностях-відстійниках.

Після очищення, одержаний гліцерол у хімічній промисловості для одержання миючих засобів, а також, після більш ретельної очистки – у фармацевтичній промисловості. Однак, для більш ретельної очистки гліцеролу та утилізації побічних відходів виробництва необхідно витратити значні кошти.

3.1.1. Аналіз сучасних технологій виробництва біодизельного палива

Зростання використання енергоресурсів в глобальному масштабі та зниження видобутку енергоносіїв сприяє більш ширшому використанню і вдосконаленню альтернативних поновлюваних технологій одержання енергоресурсів.

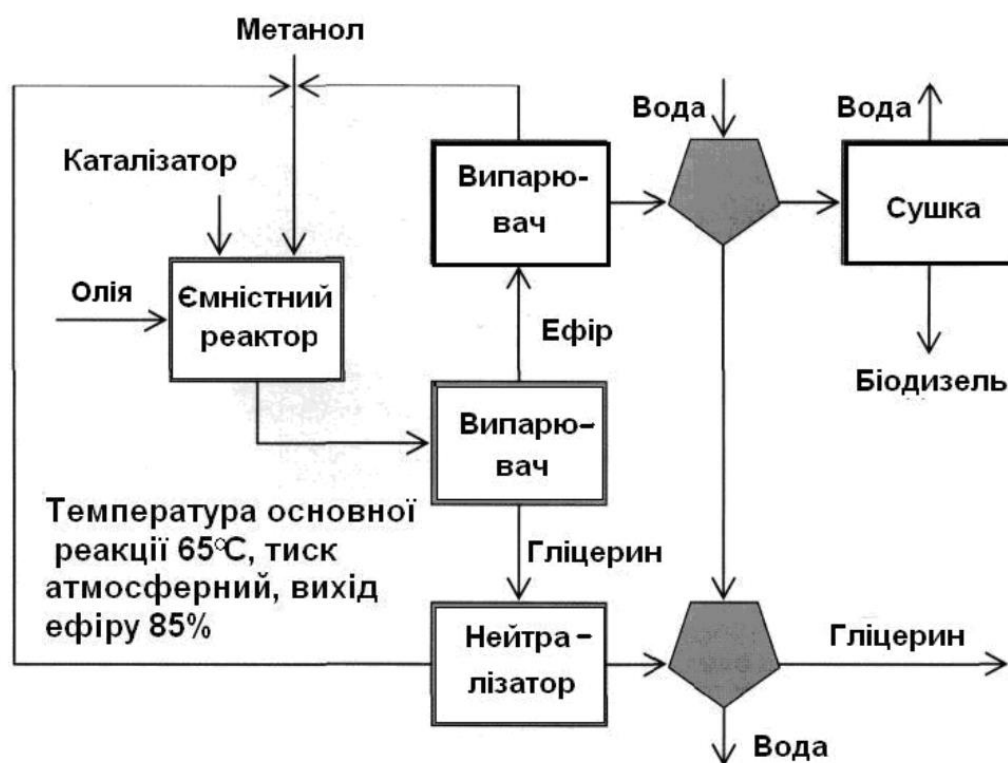


Рис. 3.2. Циклічна каталітична схема виробництва біодизелю

Сучасні технології спрямовані на вдосконалення технологічного процесу одержання біодизельного пального шляхом вдосконалення окремих ланок технологічного процесу та апаратурного забезпечення. В першу чергу це стосується переробки рослинної біомаси на рідкий продукт, використання ефективних каталізаторів, температурного та механічного режимів культивування.

На даний час, основними діючими технологіями, які використовуються для виробництва біодизелю є застосування циклічної технології із використанням каталітичних елементів лужної природи (рис.

3.2) та циклічної технології із використанням розчинників без використання каталізаторів (рис. 3.3). Порівняльна характеристика даних технологій наведено в табл. 3.1.

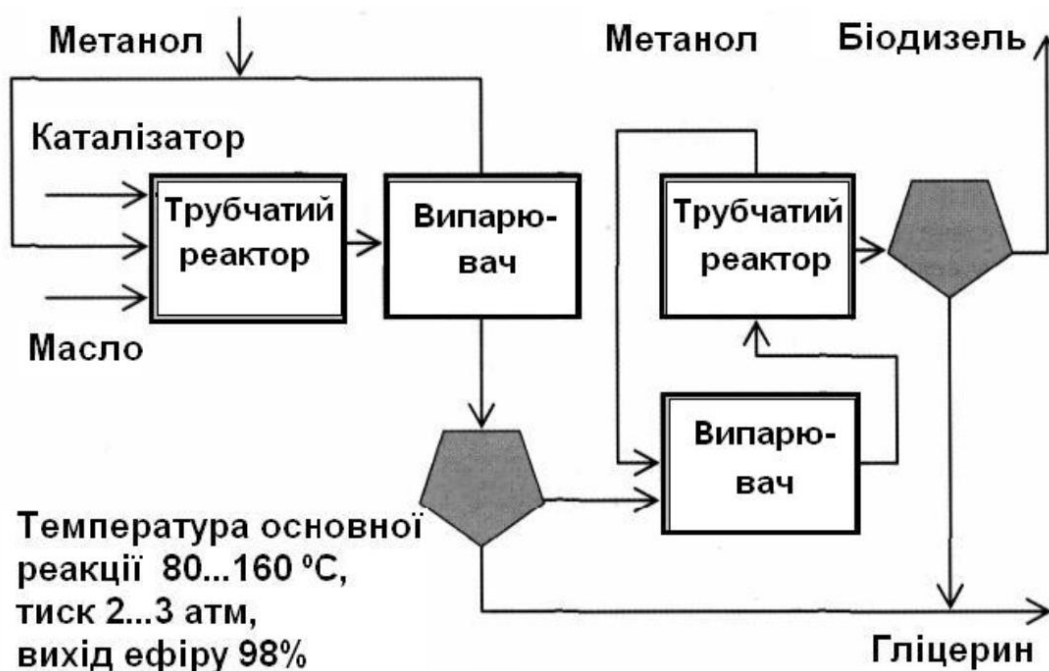


Рис. 3.3. Циклічна технологічна схема виробництва біодизелю із використанням розчинників без каталізаторів

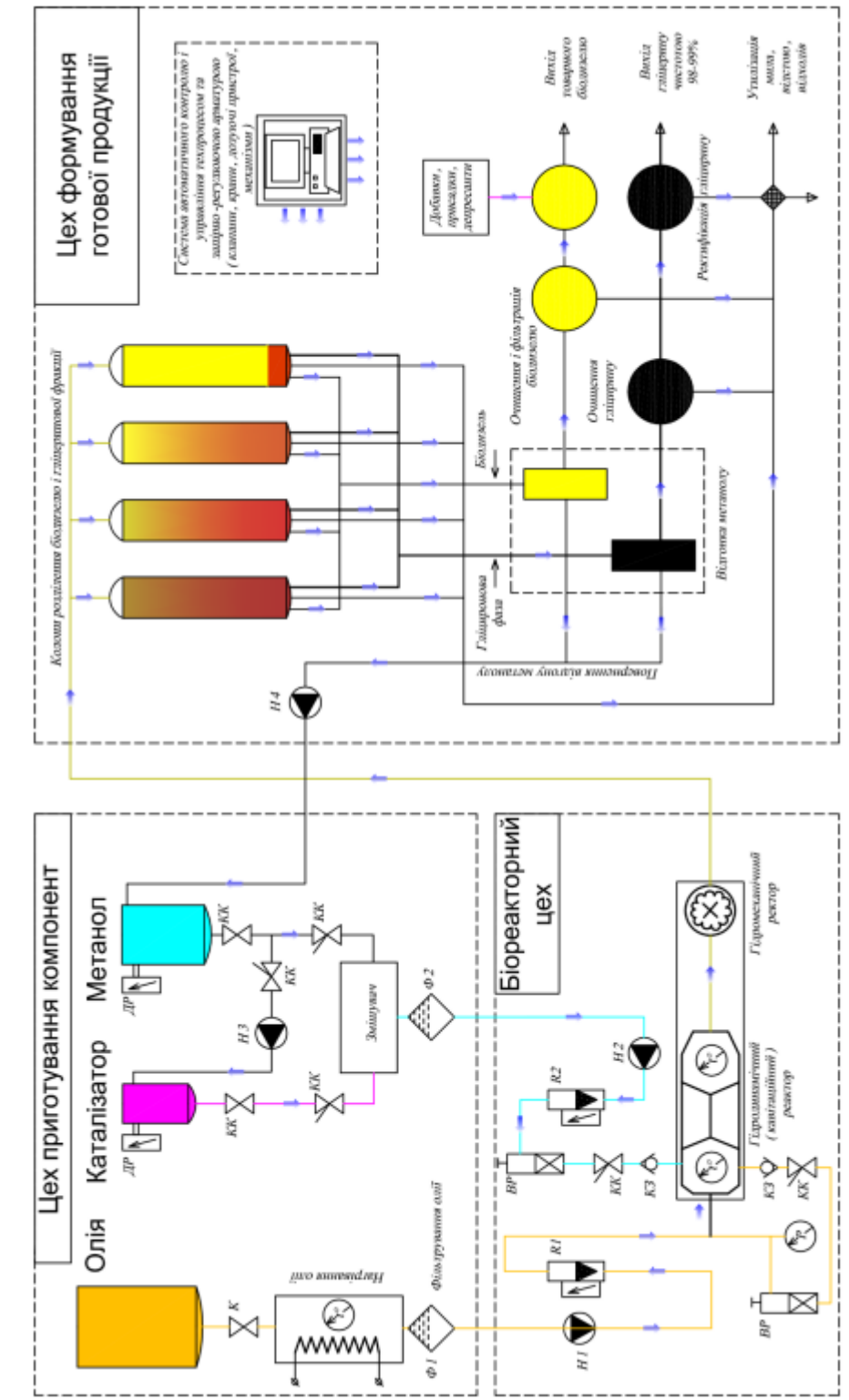
Вибір тої чи іншої технологічної схеми по-перше залежить від потужності виробництва, виду субстрату, який піддається переробці та його якісним характеристикам, методів очистки спирту, каталізатора та інших побічних продуктів. На підприємствах із виробничою потужністю переробки ріпакової олії невисокої якості в біодизель до 5000 т/рік, в основному, використовують циклічну технологію з використанням каталізаторів. Для великотоннажного виробництва, із потужністю більше як 5000 т/рік, здебільшого використовують безперервну багато реакторну технологію, однак, вирішальне значення для цього мають якісні показники вихідної сировини.

Порівняльна характеристика (переваги, недоліки) базових технологій одержання біодизелю

Назва технології	Характеристика	Переваги	Недоліки
Циклічна із застосуванням каталізаторів	температура реакції 65 °С, тиск атмосферний, тривалість реакції від 20 хв. до 2 год., кількість каталізатора – 1,5 % від маси олії, вихід ефіру – близько 85 % від загальної маси біодизеля	<ul style="list-style-type: none"> • відносна простота технологічного процесу • невисока вартість технологічної лінії • можливість використання сировини невисокої якості 	<ul style="list-style-type: none"> • невисокий вихід ефіру • тривалість реакції
Безкаталізаторна циклічна	температура реакції 30 °С, тиск атмосферний, тривалість реакції 5... 10 хв., розчинник – тетрагідрофуран, вихід ефіру – близько 98 % від загальної маси біодизеля	<ul style="list-style-type: none"> • високий вихід ефіру • невисока температура и велика швидкість реакції • чистота продуктів 	<ul style="list-style-type: none"> • потреба в дорогих і агресивних розчинниках • необхідність використання додаткового обладнання
Багатореакторна безперервна	температура реакції 80... 160 °С, тиск 2... 3 атм, тривалість реакції – від 6... 10 хв., кількість каталізатора – до 1 % від маси олії, вихід ефіру – до 98 % від загальної маси біодизеля	<ul style="list-style-type: none"> • високий вихід ефіру • неперервність процесу • швидкість реакції 	<ul style="list-style-type: none"> • складність технологічного процесу • достатньо висока вартість технологічної лінії • висока чутливість до якості сировини

Вищезазначені технології виробництва біодизельного палива можна вдосконалювати відповідно до таких умовних напрямів:

- 1) удосконалення й підвищення якості вихідної сировини (інгредієнтів) для виробництва біопалива;
- 2) вибір ефективних методів інтенсифікації виробництва біопалива;
- 3) удосконалення технічних засобів для реалізації ефективних технологій виробництва біопалива.



К - крани шарові не керовані; КК - крани шарові керовані; КЗ - клапани зворотні; ВР - вентилі регулюючі; Ф - фільтри; Н - насоси; R - витратоміри (ротометри); P - датчики тиску; t° - датчики температури; ДР - датчики рівня

Рис.3.4. Принципова технологічна схема одержання біодизелю за циклічної технології із використанням каталізатора

Серед ефективних умовних напрямків щодо удосконалення технологічного процесу:

- по-перше, можна розглядати варіанти, що стосуються першого етапу, а саме по-етапного змішування ріпакової олії із розчинником (газовий конденсат), а потім до їх суміші додають каталізатор (5% натрію етилету розведеного в етанолі);

по-друге, розглядаються механічні (кавітаційні, гідродинамічні, ультразвукові), відцентрового сепарування під вакуумом до 9 кПа та хімічні (використання сульфатної кислоти) методи;

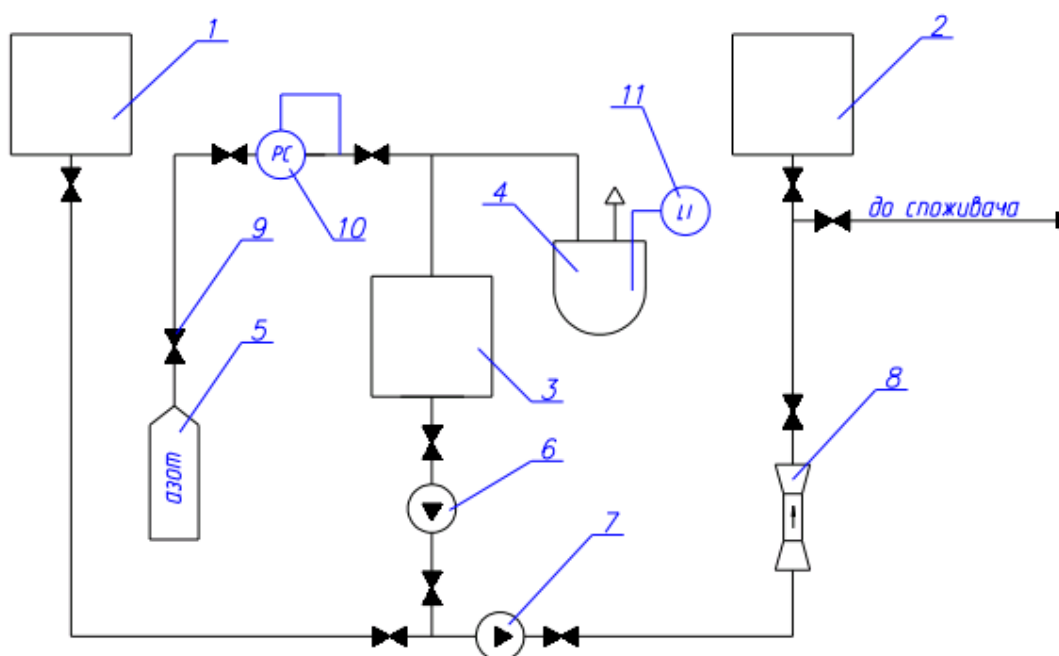


Рис. 3.5. Принципова технологічна схема приготування й зберігання паливної суміші «дизельне паливо – ріпакова олія»

1 – приймальний резервуар дизельного палива; 2 – ємкість готового продукту; 3 – сховище рапсової олії; 4 – гідрозасувка; 5 – балон із стисненим азотом; 6 – насос для перекачування рапсової олії; 7 – насос контуру приготування біодизельного палива; 8 – гідродинамічний кавітаційний змішувач; 9 – газовий редуктор; 10 – регулятор прямої дії; 11 – рівнемір гідрозасувки

по-третє, запровадження та використання високотехнологічної апаратури та ефективного технологічного обладнання. Дані технологічні прийоми підвищують вихід біодизелю, що підвищує ефективність та економічну доцільність одержання біодизельного палива.

Ще одним прикладом розробок цього напрямку є технологія та установка для приготування біопалива (рис. 3.5) з одночасним азотуванням для тривалого зберігання. Біопаливо є сумішшю, що містить 80 % дизельного палива й 20 % рапсової олії. У разі тривалого зберігання біопалива у відкритих резервуарах відбувається погіршення його якісних показників унаслідок окислення.

Вирішенням проблеми є, наприклад, застосування технології зберігання готового продукту за невеликого надлишкового тиску азоту (близько 200 мм вод. ст.). Для зменшення експлуатаційних затрат у разі тривалого зберігання горючих і легкозаймистих рідин (ГР і ЛЗР), наприклад біодизельного палива, запропоновано використовувати схему зберігання під «азотною подушкою» лише рапсової олії, яка не належить до ГР і ЛЗР. Відповідно до цієї технології біопаливо готують за потребою. На склад завозять необхідну кількість дизельного палива, яке заливають у приймальний резервуар 1. Зі сховища 3 насосом 6 рапсову олію подають на вхід насоса 7, який перекачує з приймального резервуара 1 дизельне паливо.

За допомогою гідродинамічного кавітаційного змішувача 8 готують біодизельне паливо, яке подають в ємкість готового продукту 2 або відвантажують споживачеві.

3.2. Субстрати для виробництва біоетанолу

В процесі виробництва біоетанолу, важливе значення має економічна доцільність одержаного кінцевого продукту його конкурентоспроможності. Тому, виробничі підприємства даного напрямку, удосконалюють окремі технологічні ланки, запроваджують ресурсозберігаючі та безвідходні технології, розширюють перелік органічних субстратів для ферментації, в тому числі вторинних ресурсів та відходів виробництва.

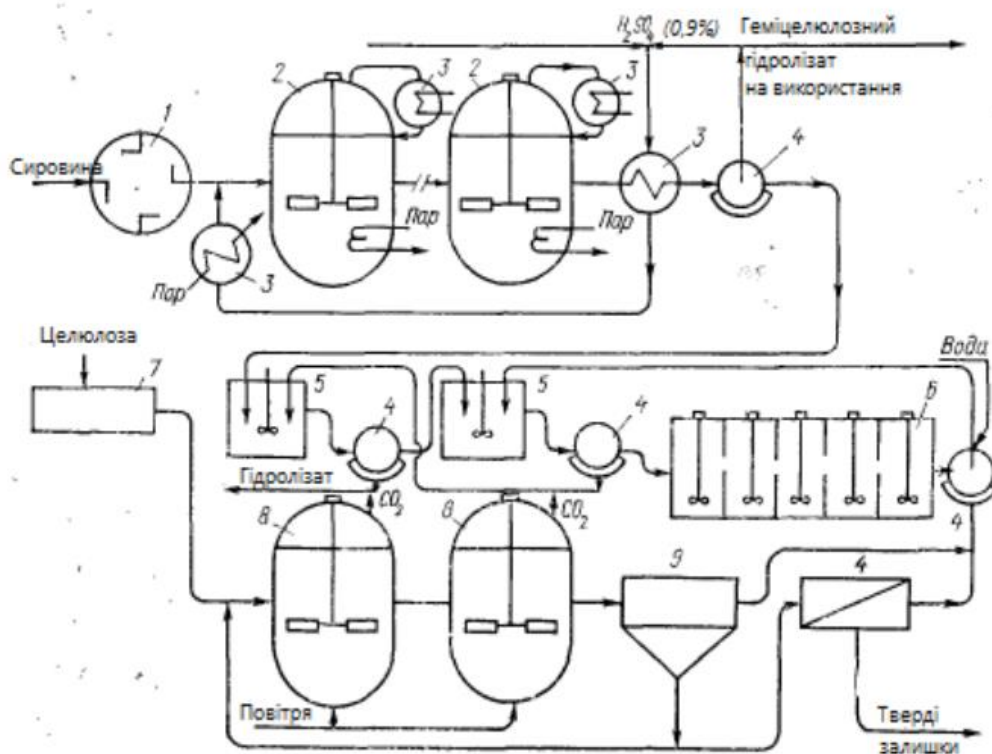


Рис.3.6. Принципова технологічна схема ферментативного гідролізу рослинної сировини:

- 1 – млин для подрібнення сировини, 2 – реактори для пере гідролізу, 3 – теплообмінники, 4 – фільтри, 5 – збірники-мішалки для регенерації ферментів, 6 – реактор для ферментного гідролізу, 7 – стерилізатор, 8 – ферментери для культивування, 9 – центрифуга

У сучасних технологія виробництва біоетанолу використовують різноманітну сировину, в склад яких входять вуглеводи: зелену масу злакових трав із значним вмістом легкозброджуючих цукрів, клітковина,

крохмальвмісні культури, побічні відходи від переробки (м'яса) тощо, переробка яких характеризується певними технологічними особливостями (рис.3,6-3.10).

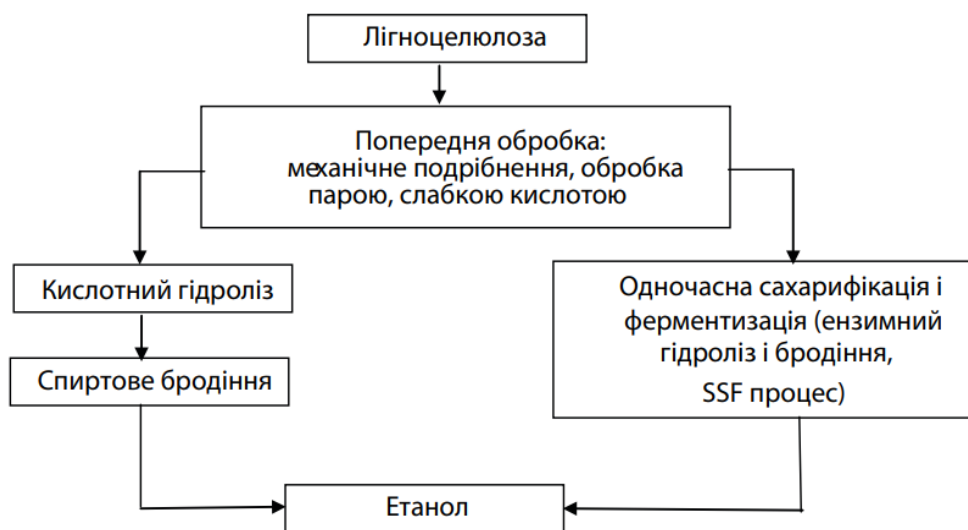


Рис.3.7. Принципова технологічна схема перетворення лігноцелюлози в біоетанол

На рис. 3.7. наведена технологічна схема механічної та хімічної обробки целюлозовмісної сировини, а також перетворення моноцукрів в процесі бродіння.

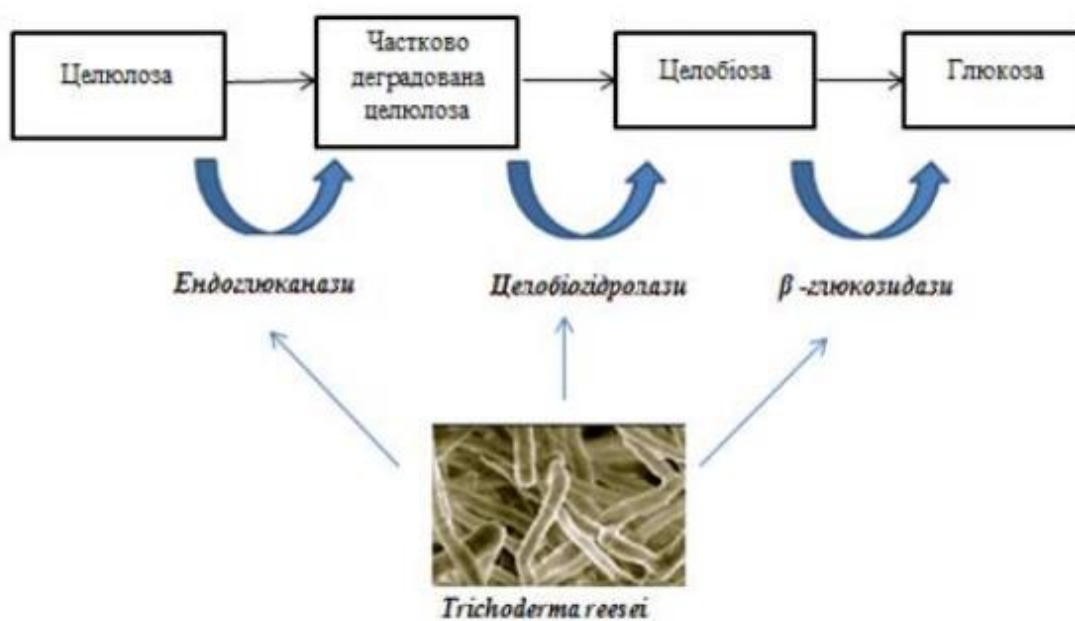


Рис. 3.8. Гідроліз клітковини за дії ферментів

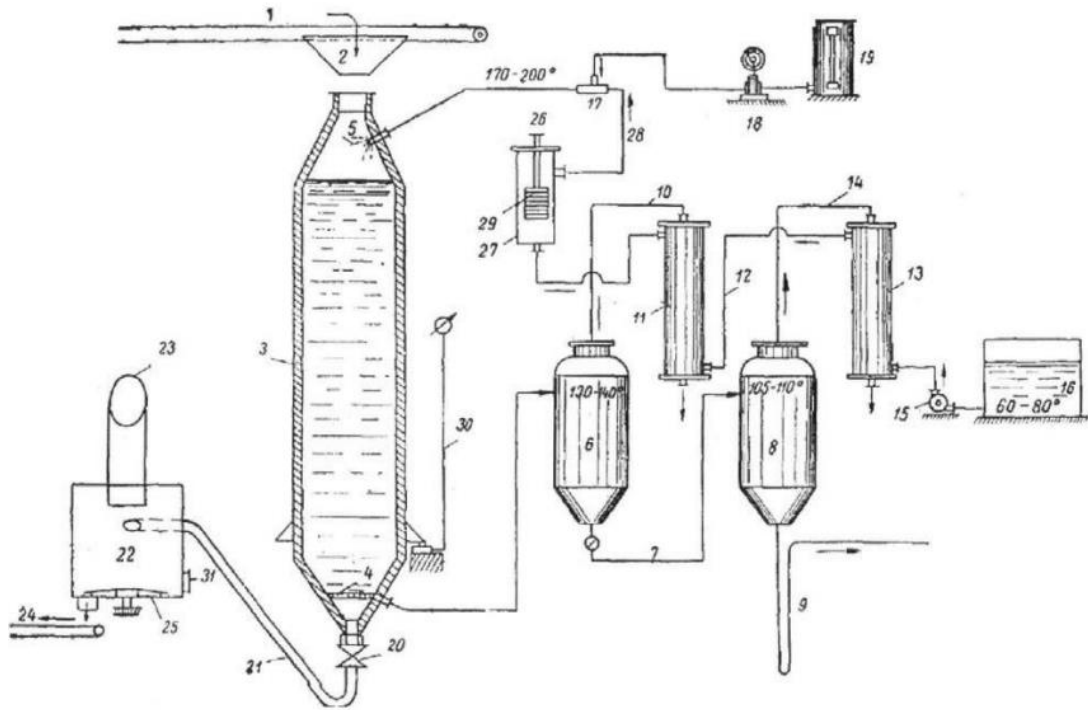


Рис. 3.9. Принципова технологічна схема хімічного гідролізу клітковини розведеною сульфатною кислотою:

1 – транспортер, 2 – напрямна лійка, 3 – гідролізний апарат; 4 – фільтр; 5, 7, 9, 10, 12, 14, 21, 23, 26, 28 – труби, 5, 8 – випарники гідролізату; 11, 13 – решофери; 15 – насос; 16 – бак оборотної води; 17 – змішувач води і кислоти; 18 – кислотний насос; 19 – мірник кислоти; 20 – клапан; 22 – циклон для лігніну; 24 – транспортер для лігніну; 25 – мішалка, яка обертається; 27 – колона для нагрівання води; 29 – диски; 30 – вагомір, 31 – бічні дверцята.

Один із найпоширеніших хімічних методів гідролізу клітковини ґрунтується на використанні розведеної сульфатної кислоти в концентрації 0,2-1% за температури 180-190°C та тиском в межах 1,0-1,5 МПа. За підвищенні концентрації сульфатної кислоти та температурного режиму процес гідролізу значно пришвидшується, однак, це негативно впливає на структуру моноцукридів, які знаходяться в розчині.

При завантаженні субстрату в гідролізний апарат подається нагріта розбавлена сульфатна кислота (70-90°C), функція якої змочити та ущільнити сировину. Після того, як утворюються моноцукри, вони переходять у розчин та безперервно видаляються через фільтр та охолоджуються. Недоліком методу є агресивність каталізаторів, які можуть здійснювати руйнування моносахаридів.

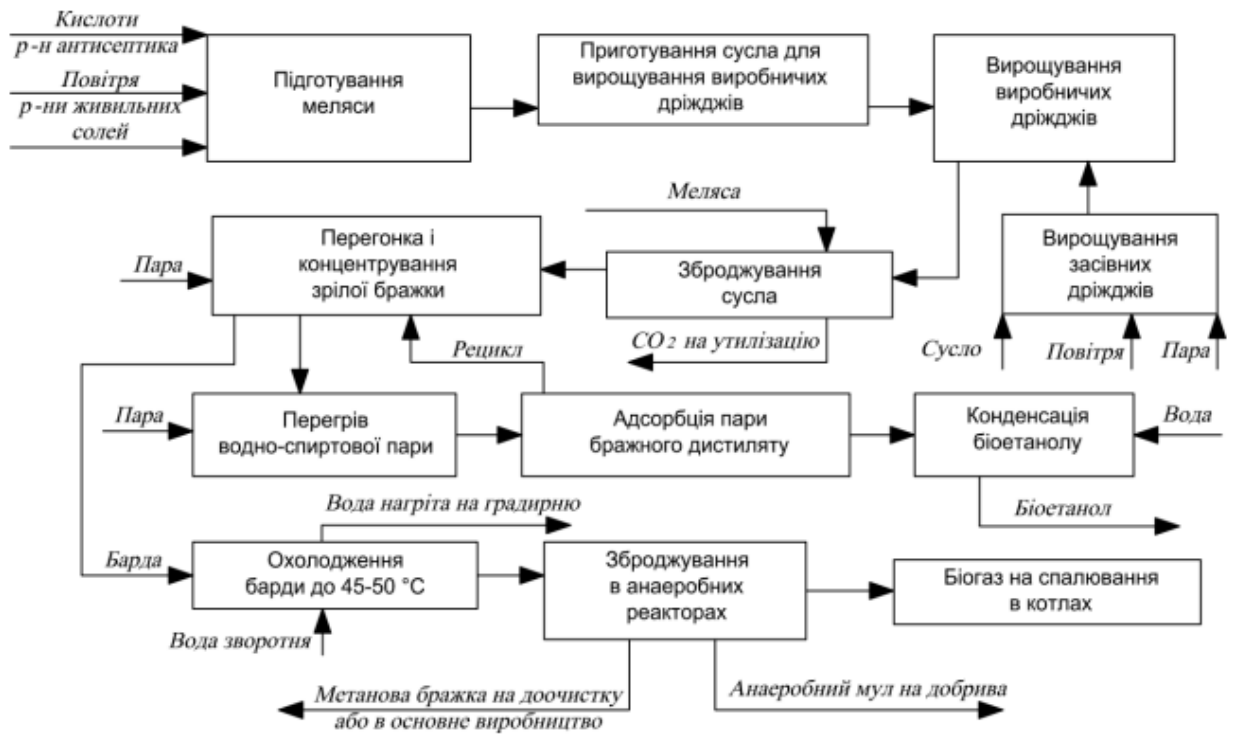


Рис.3.10. Технологічна схема виробництва біоетанолу з меляси

3.3. Оптимізація ферментного процесу виробництва біоетанолу

Сучасна промислова технологія отримання біоетанолу з харчової сировини складається з таких стадій:

- підготовки й подрібнення цукро- чи крохмальвмісної сировини – зерна (зазвичай, жита чи пшениці), кукурудзи, картоплі, топінамбура, інших культур, а також рослинних відходів сільського господарства;
- ферментування – розщеплення крохмалю до спирту під впливом дріжджових ферментів. З цією метою застосовують рекомбінантні препарати альфа-амілази, отримані біоінженерним шляхом – глюкамілаза, амілосубтилін;
- ректифікування зброженої браги (розділення), проходить, у колонних апаратах із контактними елементами у вигляді тарілок.

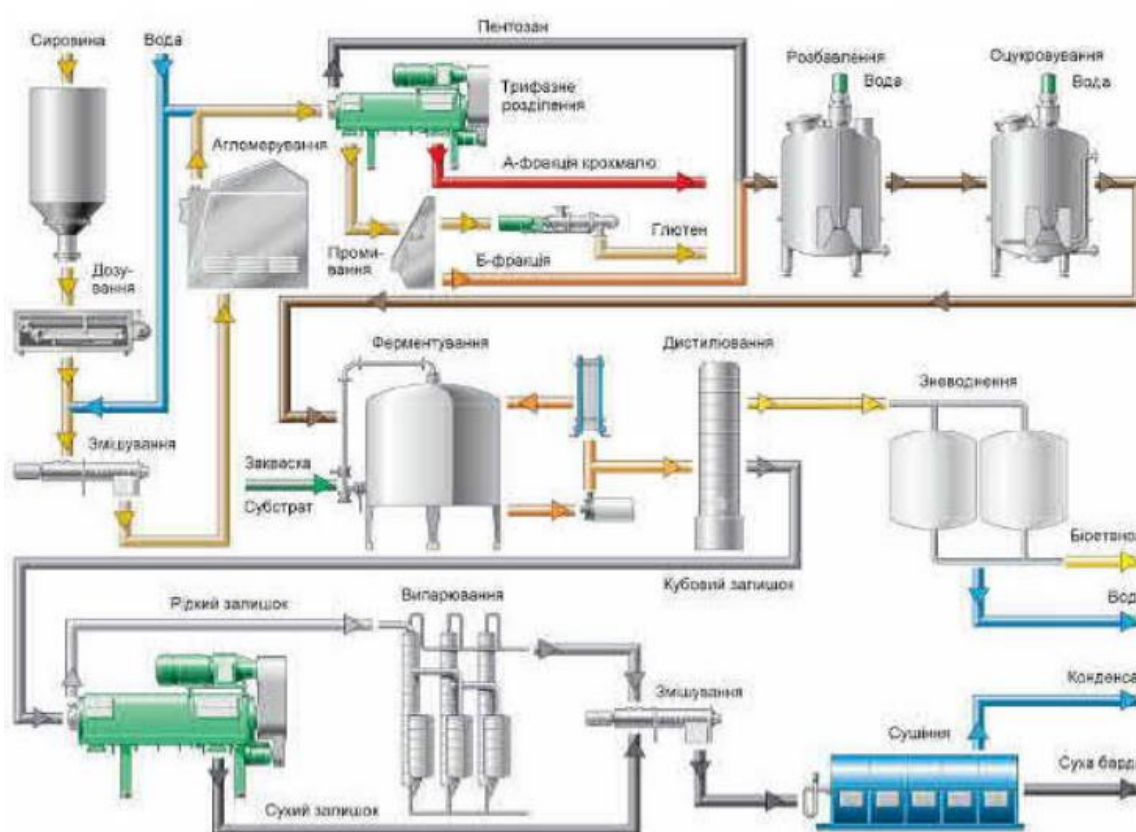


Рис. 3.11. “Мокрий” спосіб одержання етанолу (виробництво біоетанолу)

Технологія одержання біоетанолу подібна до технології одержання харчового спирту, однак має ряд особливостей. У технології одержання біоетанолу використовують "мокрый" спосіб (рис. 3.11), на відміну від технології одержання харчового етилового спирту, де застосовують "сухий" спосіб.

У "мокрому" технологічному процесі на першому етапі виділяють глютен і крохмаль, які направляють на виробництво харчового етилового спирту, у "сухому" глютен не виділяють. У технологічному плані одержання паливного спирту в значній мірі залежить від виду органічного субстрау. Однак всі принципово технологічні схеми зводяться до наступного:

- підготовка субстрату-сировини та екстракція моноцукридів або гідроліз (оцукрювання) сировини;
- ферментація (зброджування) оцукреної маси;
- отримання етилового спирту шляхом дистиляції (перегонки) браги;
- очищення (ректифікація) спирту.

Як зазначалося вище, кожне виробництво повинне бути економічно доцільним та конкурентоспроможним, тому необхідно постійно проводити модернізацію технологічного процесу. Нами досліджувався технологічний процес одержання біоетанолу з використанням як базового субстрату – початків кукурудзи.

Після механічної обробки, розварювання, оцукрювання та охолодження маса початків кукурудзи потрапляє до бродильної камери (рис. 3.12). У ферментері була вмонтована оптимізована мішалка, яка була у формі якора із отворами, через які надходив Карбон (IV) оксид для перемішування бродильної маси. В процесі перемішування Карбон (IV) оксид взаємодіяв із парами етилового спирту, виводячи його назовні за межі бродильного апарату.

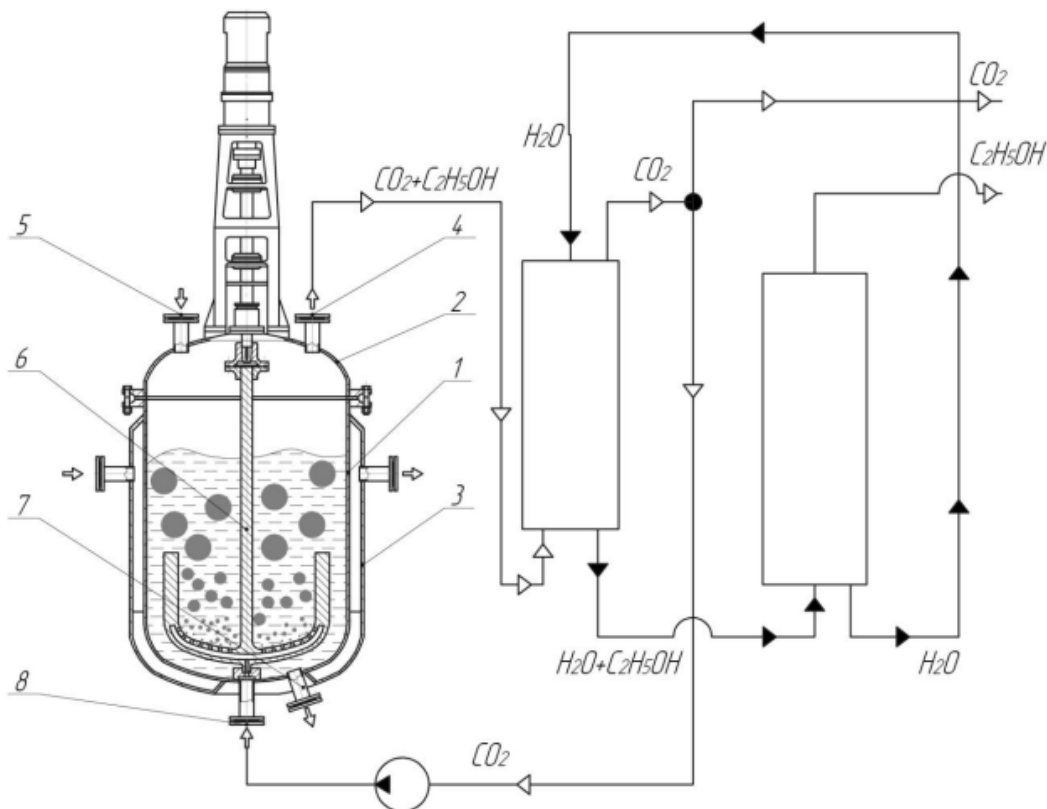


Рис. 3.12. Схема дільниці бродіння та очищення виробництва біоетанолу
 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – сорочка; 4 – штуцер виходу газової суміші; 5 – штуцер подачі сировини; 6 – мішалка; 7 – штуцер для виходу відпрацьованої сировини; 8 – штуцер подачі діоксиду карбону.

Суміш парів етанолу та діоксиду вуглецю розділяється у спиртовловлювачі за рахунок селективної абсорбції етанолу водою. Суміш води з етанолом розділяється у ректифікаційній колоні, далі вода повертається до спиртовловлювача, а очищений діоксид карбону спрямовується частково до бродильного апарату, а частково виводиться з процесу як побічний продукт виробництва етанолу.

Очищений діоксид вуглецю використовується у харчовій промисловості. Модернізація дільниці бродіння та очистки спирту є доцільною, розробка нових апаратів відповідно до модернізації актуальна.

ВИСНОВКИ

1. Опрацьовано джерела літератури та інтернет ресурс щодо аналізу сучасного зарубіжного та вітчизняного досвіду виробництва біодизеля та біоетанолу як поновлюваних альтернативних джерел енергії.

2. Подана характеристика сучасних технологій, обладнання та апаратурного забезпечення виробництва альтернативного поновлювального біопалива (біодизель, біоетанол), а також вуглеводній сировині для зброджування.

3. Для оптимізації технологічного процесу одержання біодизелю необхідно змішування ріпакової олії із розчинником, а потім до їх суміші додають каталізатор, на стадії переетерифікації необхідно застосовувати гетерогенні тверді каталізатори, які забезпечують одностадійний енергозберігаючий процес.

4. Подані принципові технологічні схеми з метою запровадження ресурсозберігаючих і безвідходних технологій щодо ферментації зеленої маси злакових трав із значним вмістом легкозброджуючих цукрів, клітковини, крохмальвмісні культури, побічні відходи від переробки (меляса) та органічних відходів у біоетанол

5. Вибрано ферментер для біосинтезу цільового продукту, наведений опис апаратурно-технологічної схеми виробництва біоетанолу за ферментації початків кукурудзи в безперервному процесі. Модернізовано мішалку, що забезпечило зростання на 5,4% виходу біоетанолу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мазур К. В. Розвиток альтернативної енергетики в АПК /К. В. Мазур // Збірник наукових праць ВНАУ. 2012. № 1(56). С. 181-186.
2. Бобров Є. А. Перспективи розвитку енергетики в контексті забезпечення енергетичної безпеки /Є. А. Бобров // 1-й Міжнародний науковопрактичний інтернет-семінар «Екологічна освіта і наука для сталого розвитку». 2016. С. 28-34.
3. Ратушняк Г. С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання: навчальний посібник / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна. Вінниця: ВНТУ, 2010. 170 с.
4. Відновлювана енергетика XXI століття: матеріали XXI міжд. наук.- практ. конф., 12-16 вересня 2011 р., А Р Крим, смт. Миколаївка. 487 с.
5. Перспективи розвитку альтернативної енергетики на Поліссі України / В. О. Дубровін, Л. Д. Романчук, С. М. Кухарець [та ін.]; відп. ред. О. В. Скидан. К.: Центр учбової літератури, 2014. 335 с.
6. Калетнік Г.М., Пришляк В.М. Біопалива: ефективність їх виробництва та споживання в АПК України. Навч. посібник. К: Аграрна наука, 2010. 327 с.
7. Прокаєва А. Сучасне керування відходами відповідно до принципів циркулярної економіки: навчальний посібник курсу ZWA deep level. 2021. 140 с.
8. Забарний Г.М., Кудря С.О., Кондратюк Т.Г., Четверик Г.О. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України. Інститут відновлювальної енергетики НАНУ, Київ, 2006. 226с.
9. Біологічні ресурси і технології виробництва біопалива: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша, І.П. Григорюк та інші. К.: «Аграр Медіа Груп», 2010. 292 с.
10. Використання гідродинамічної кавітації у виробництві дизельного біопалива / [Сухенко Ю., Литвиненко О., Сухенко В., Муштрук

М., Бойко Ю.] // Техніка та технології АПК. Дослідницьке: 2011. № 10 (25). С. 33-36.

11. Kokabian B. Water deionization with renewable energy production in microalgae - Microbial desalination process / B. Kokabian, U. Ghimire, V.G. Gude // *Renewable Energy*. 2018. Vol. 69. P. 354–361

12. Віршовка М.І. Аналіз способів підготовки рослинної олії для виробництва біодизельного палива / М.І. Віршовка // *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. К. 2009. Вип. 134, ч. 2. С. 100-108.

13. Віршовка М.І. Визначення питомої енергемісткості на виробництво біодизельного палива із застосуванням трубчастого естерифікатора для / М.І. Віршовка // *Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка* / Редкол. Д.І. Мазоренко (відп. ред.) та ін. Харків. 2008. Вип. 175. Том. 1. С. 437-444.

14. Chew K.W. Microalgae biorefinery: high value products perspectives/ K.W. Chew, J.Y. Yap, P.L. Show, N.H. Suan, J.C. Juan, T.C. Ling, D.-J. Lee, J. S. Chang // *Bioresour. Technol*. 2017. Vol.229. P. 53–62.

15. Віршовка М.І. Дослідження параметрів кільцевого трубчастого реактора для виробництва біодизельного палива / М.І. Віршовка // *Вісник Дніпропетровського Державного аграрного університету*. – Дніпропетровськ, 2009. №2. С. 216- 219.

16. Голуб Н.Б., Драпой Д.І.; Продукування водню при анаеробній ферментації відходів кукурудзи та соняшника. *Наукові вісті НТУУ "КПІ"*. 2016. 3. С.13-20.

17. Взаємодія мікробних популяцій у метаногенних асоціаціях і шляхи збільшення виходу метану в метантенках / [Карпенко В.І., Ястремська Л.С., Голодок Л.П. та ін.] // *Вісник Дніпропетровського Університету*. Сер. Біологія. Екологія. 2006. № 3/1. С. 80-85.

18. Дубровін В. О. Біодизель та біоетанол / Дубровін В. О., Голуб Г. А.. Київ, 2015. 54 с.
19. Голуб Г.А., Лук'янець С.В. Інвестиційна привабливість виробництва і викори- стання дизельного біопалива / Голуб Г.А., Лук'янець С.В. // Економіка АПК. 2013. № 2. С. 54-60.
20. Основні економічні показники виробництва продукції сільського господарства в сільськогосподарських підприємствах за 2010 рік. Стат. бюл.; за ред. Ю.М. Остапчука. К.: Державна служба статистики України, 2011. 88 с.
21. Павленко М.Ю. Аналіз технологій виробництва дизельного біопалива / М.Ю. Павленко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. К., 2013. Вип 185, ч.1. С. 161-166.
22. Біоетанол – альтернативна енергетика і технології майбутнього [Електронний ресурс] // Гнідаський цукровий завод. 2018. Режим доступу до ресурсу: <https://gnidava.lt.ua/2018/01/30/bioetanol-alternatyvna-energetyka-tehnologi-ji-majbutnogo/>.
23. Поллак Е. Створення рослин для виробництва палива // Пропозиція. 2007. №3. С.12-13.
24. Поліщук В.М. Технології виробництва біодизеля (огляд) / В.М. Поліщук, С.Є Тарасенко, І.Д. Гуменюк, М.М. Яструб, О.В. Поліщук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. Київ. 2010. С. 354-359.
25. Про підвищення рівня енергетично-екологічної безпеки України / [Ковальський В., Голидников А., Григорак М. та інші.] // Економіка України. 2000. №10. С. 34-41.
26. Зелена книга. Регулювання виробництва рідких моторних палив [Електронний ресурс]. 2019. Режим доступу до ресурсу: <https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2019/06/regulation-of-production-of-liquidmotor-biofuels-2019.pdf>.

27. Біоетанол – альтернативна енергетика і технології майбутнього [Електронний ресурс] // Гнідаський цукровий завод. 2018. Режим доступу до ресурсу: <https://gnidava.lt.ua/2018/01/30/bioetanol-alternatyvna-energetyka-tehnologiyi-majbutnogo/>.

28. Гелетуха Г.Г. Біомаса як паливна сировина / Гелетуха Г.Г., Жовмір М.М., Олійник Є.М., Радченко С.В.. // Промышленная теплотехника. 2011. №5. С. 79-87.

29. Семенов В.Г. Визначення нижчої теплоти згоряння біодизельного палива за хроматографічними даними / Семенов В.Г., Черненко С.М., Атамась А.І. // Вісник Кремен. держ. університету ім. М. Остроградського. Наукові праці КДУ ім. М. Остроградського. Кременчук: КДУ ім. М. Остроградського, 2010. Вип. 2/2010 (61) Частина 1. С. 87-91.

30. Сільське господарство України. Стат. зб.; за ред. Ю.М. Остапчука. К.: Державна служба статистики України, 2011. 370 с.

31. Статистичний щорічник України; за ред. О.Г. Осауленка. К.: Державна служба статистики України, 2011. 560 с.

32. Умінський С. Гідродинамічне обладнання для отримання біопалива / С. Умінський, С. Інютин // Техніка та технології АПК. Дослідницьке: 2013, № 2 (41). С. 11-13.

33. Альтернативна енергетика: [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнев, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. К: «Аграр Медіа Груп», 2011. 612 с.

34. Сибірний А. Біопаливний етанол з лігніноцелюлози (рослинної біомаси): досягнення, проблеми, перспективи / А. Сибірний // Вісник НАН України. 2006. №3. С. 32-48.

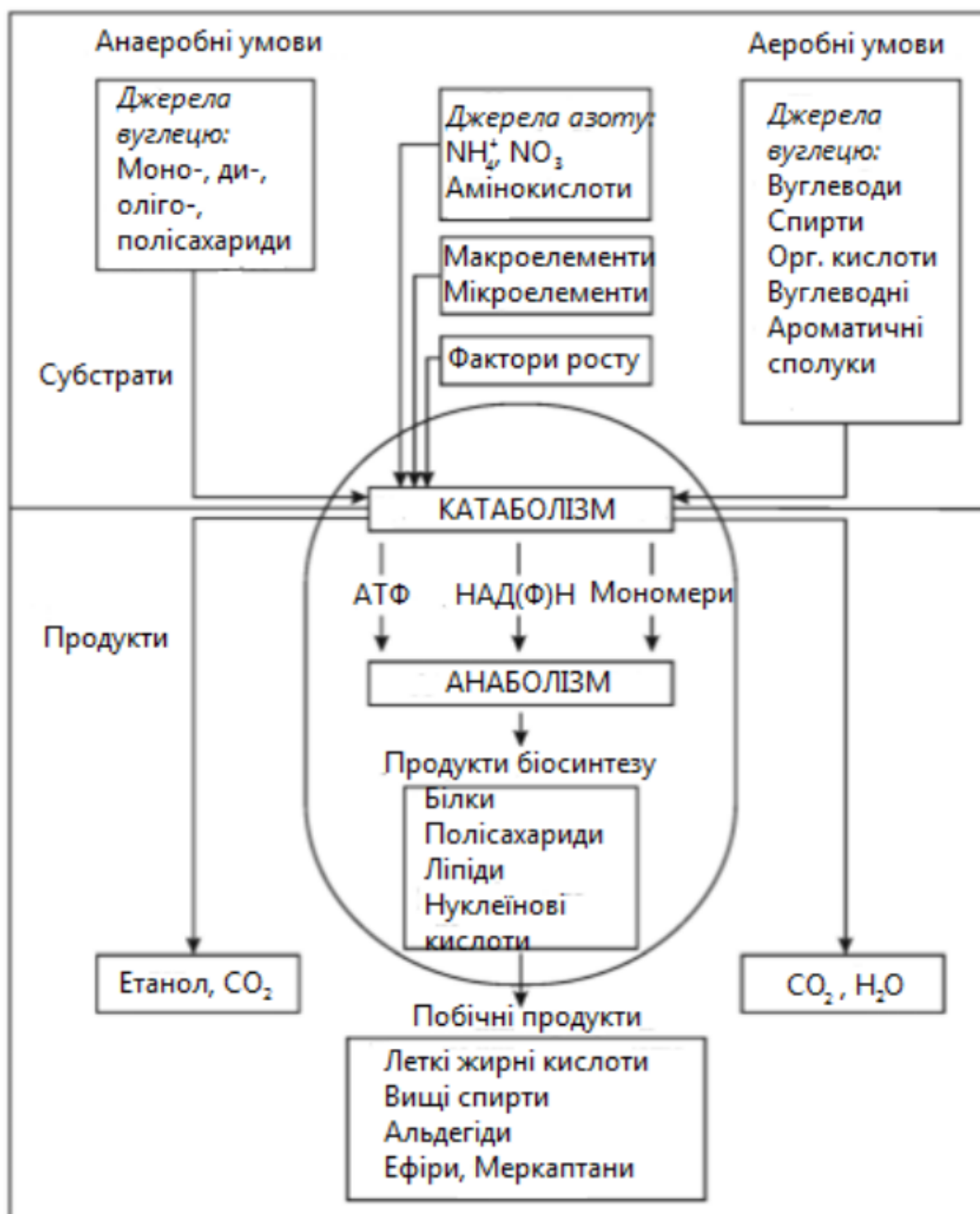
35. Шиян П.Л. Інноваційні технології спиртової промисловості: Теорія і практика: [Монографія] / Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійнічук С.Т. К.: Видавничий дім "Асканія", 2009. 424 с.

36. Череп А.В. Шляхи і напрямки зниження собівартості продукції / Череп А.В. // Вісник технологічного університету "Поділля". 2004. №6. С. 178-181.

37. Dadan Kudiana and Shiko Sana, A Novel Process of Biodiesel Fuel Production in Supercritical Methanol// 1 st World Conference on Biomass for Energy and Industry. – Sevilla, Spain, 5-9 June 2000. Vol. 1. P. 563-566.

ДОДАТКИ

Додаток А



Загальна схема метаболізму дріжджів

Додаток Б

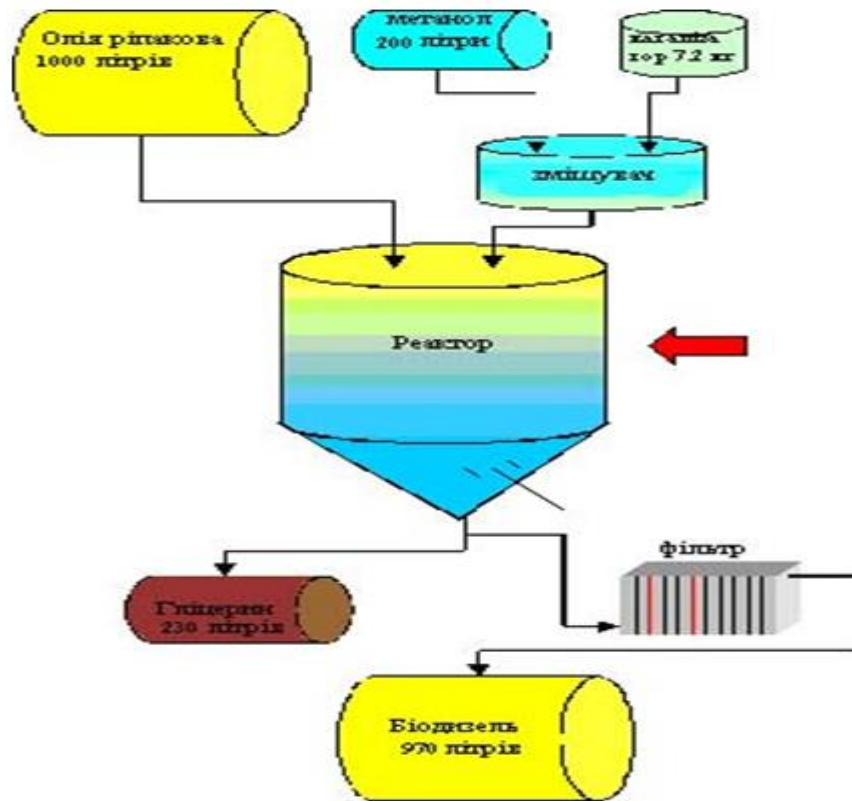
Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн т	Енергетичний потенціал, млн т у.п.	Можливість отримання енергії, %
Солома зернових культур	30,6	4,54	30
Солома ріпаку	4,2	0,84	40
Відходи виробництва соняшника	20,9	1,72	40
Відходи виробництва кукурудзи на зерно	40,2	4,39	40
Біогаз (з кукурудзи)	3,3 млрд м ³ метану	3,68	90
Вторинні сільськогосподарські відходи	6,8	0,69	63
Біодизель	-	0,47	-
Біоетанол (з кукурудзи та цукрових буряків)	-	0,99	-
Деревна біомаса	4,6	1,97	96
Біогаз з відходів та побічної продукції	1,6 млрд м ³ метану	0,97	50

Енергетичний потенціал біомаси України

Додаток В



Схематичний процес безвідходної технології переробки ріпакової олії



Технологічна схема одержання біодизелю