

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерії»

Допускається до захисту
Зав. кафедри технології кормів, кормових
добавок і годівлі тварин

 проф. Бабенко В. Р.
назва кафедри
підпис, вчене звання, прізвище, ініціали
« 11 » травня 20 16 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Аналіз біотехнології виробництва та використання біостанолу
як альтернативного джерела енергії

Виконав: Гусак Олександр Володимирович 

прізвище, ім'я, по батькові, підпис

Керівник

доцент Бабенко С. П. 
вчене звання, прізвище, ініціали підпис

Рецензент

професор Чайковська О. С. 
вчене звання, прізвище, ініціали підпис

Я, Гусак О. В. (ПІБ здобувача), засвічую, що кваліфікаційну роботу
виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.

ЗМІСТ

	Стор.
Завдання на виконання кваліфікаційної роботи	
Висновок керівника на кваліфікаційну роботу	
Вступ.....	7
Розділ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	9
1.1 Біоетанол як альтернативне поновлюване джерело енергії	9
1.2 Сировина, яка використовується для виробництва біоетанолу	13
1.3 Основні підприємства України, що виробляють біоетанол	18
Розділ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	23
Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	25
3.1 Апаратурне забезпечення технологічного процесу переробки меляси в біоетанол	25
3.2 Сучасні технології одержання біоетанолу	35
3.3 Особливості ферментації субстрату з відходів кукурудзи продуцентами біоетанолу	39
ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	46

АНОТАЦІЯ

Прізвище, ініціали: Гусак О.В.

Назва кваліфікаційної роботи: Аналіз біотехнології виробництва та використання біоетанолу як альтернативного джерела енергії.

Досліджено. Кваліфікаційна робота написана на актуальну тему, вона присвячена дослідженню технологічних аспектів щодо сировинної бази та продуцентів відновлювального джерела енергії – біоетанолу. Викопні джерела енергії вичерпуються, і стає необхідним поступово їх замінювати поновлювальними джерелами. Саме таку роль повинен виконати біоетанол та інші відновлювальні джерела. Тому дуже важливим є розробляти та удосконалювати технології виробництва біоетанолу. Шукати нові, нетрадиційні сировинні ресурси, здебільшого на основі клітковини та інших органічних відходів АПК, а також селекційних продуцентів (дріжджів), що дасть можливість запроваджувати ресурсо- та енергозберігаючі технології.

Об'єкт дослідження – м'яса, штами дріжджів, технологічні параметри та субстрати для культивування.

Предмет дослідження – виробництво паливного етилового спирту на відходах кукурудзи за використанням різних штамів дріжджів.

Мета досліджень – аналіз й узагальнення інформації щодо сучасного стану виробництва біоетанолу, вплив режимів культивування та продуцентів на оптимізацію технологічного процесу.

Відповідно до мети вирішувались наступні **завдання**:

- проаналізувати доступну літературу та інтернет ресурси щодо узагальнення інформації про сировинний потенціал та мікроорганізмів-продуцентів біоетанолу;

- ознайомитись із технологічними особливостями біосинтезу біоетанолу на м'ясі як основному субстраті;

- подати опис апаратурно-технологічної схеми виробництва біоетанолу при спиртовому зброджуванні м'ясного суслу в періодичному і безперервному процесах.

- дослідити технологічні особливості субстрату з відходів кукурудзи в умовах переробки продуцентами біоетанолу;

- вивчити вплив режимів культивування та різних штамів дріжджів на оптимізацію технологічного процесу одержання паливного етанолу на відходах кукурудзи.

Кваліфікаційна робота магістра містить 49 сторінок, 9 таблиць, 23 рисунки, список використаних джерел із 32 найменувань.

Ключові слова: поновлювальна енергетика, м'яса, біоетанол, ректифікаційна колона, дріжджі, сусло, бродіння.

ANNOTATION

Surname, initials: Husak O.V.

Title of qualification work: Biotechnology analysis of production and use of bioethanol as an alternative source of energy.

Researched. The qualification work is written on a topical topic, it is devoted to the research of technological aspects of the raw material base and producers of a renewable energy source - bioethanol. Fossil energy sources are being depleted, and it is becoming necessary to gradually replace them with renewable sources. This is the role that bioethanol and other renewable sources should play. Therefore, it is very important to develop and improve bioethanol production technologies. Search for new, non-traditional raw materials, mostly based on fiber and other organic wastes of agriculture, as well as selective producers (yeast), which will make it possible to introduce resource- and energy-saving technologies.

The object of research is molasses, yeast strains, technological parameters and substrates for cultivation.

The subject of the research is the production of fuel ethyl alcohol on corn waste using different yeast strains.

The purpose of the research is the analysis and generalization of information on the current state of bioethanol production, the influence of cultivation regimes and producers on the optimization of the technological process. In accordance with the goal, the following tasks were solved:

- to analyze the available literature and Internet resources regarding the generalization of information about the potential of raw materials and micro-organisms producing bioethanol;

- get acquainted with the technological features of the biosynthesis of bioethanol on molasses as the main substrate;

- to submit a description of the equipment and technological scheme for the production of bioethanol during the alcoholic fermentation of molasses wort in periodic and continuous processes.

- to investigate the technological features of the substrate from corn waste in the conditions of processing by bioethanol producers;

- to study the influence of cultivation regimes and different strains of yeast on the optimization of the technological process of obtaining fuel ethanol from corn waste.

The master's qualification work contains 49 pages, 9 tables, 23 figures, a list of used sources from 32 names.

Key words: renewable energy, molasses, bioethanol, rectification column, yeast, wort, fermentation.

ВСТУП

У зв'язку з виснаженням запасів нафти та постійним зростанням цін на енергоносії, починаючи із середини XX століття значно зросла увага до пошуку альтернативних джерел енергії. Це зумовило необхідність розроблення нових технологій отримання енергії.

Для повноцінної заміни традиційних джерел енергії нові джерела повинні бути відновлюваними. До таких джерел належать сонячна енергія, енергія вітру, припливів і відпливів, а також енергія, отримана внаслідок фотосинтезу (біопаливо). Важливою перевагою цих джерел є їх екологічна безпека порівняно з викопним паливом.

Відомо, що під час згоряння викопного палива утворюється понад 300 шкідливих сполук, які негативно впливають на навколишнє середовище. Натомість при використанні продуктів фотосинтезу (біопалива) рівень забруднення значно менший, а кількість викидів вуглецю не перевищує обсягів, поглинутих рослинами під час їх росту.

У Європі основним видом біопалива є біодизель, тоді як у США – біоетанол. Популярність біодизеля пояснюється можливістю масштабування виробництва, а також його фізико-хімічними властивостями та відносною безпекою. Водночас біоетанол має значний потенціал, оскільки може вироблятися з різноманітної сировини – як рослинної, так і відходів сільського господарства та деревообробної промисловості.

Біоетанол є перспективним екологічно чистим паливом і водночас цінною сировиною для хімічної промисловості. Його використання активно підтримується державними програмами в багатьох країнах світу. Наразі понад половину світового виробництва етанолу використовують як добавку до моторного палива, тоді як близько 15% – у харчовій промисловості.

Мета і завдання дослідження

Мета дослідження — аналіз і узагальнення інформації щодо продуцентів біоетанолу, умов їх культивування та впливу технологічних режимів на ефективність процесу виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати наукову літературу та інтернет-ресурси щодо мікроорганізмів-продуцентів біоетанолу та сировинної бази його виробництва.
2. Ознайомитися з технологічними особливостями біосинтезу біоетанолу на мелясі як основному субстраті.
3. Описати апаратурно-технологічні схеми виробництва біоетанолу при періодичному та безперервному зброджуванні м'ясного суслу.
4. Дослідити особливості виробництва біоетанолу з відходів кукурудзи.
5. Вивчити вплив різних технологічних режимів і штамів дріжджів на оптимізацію процесу отримання біоетанолу.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Біоетанол як альтернативне поновлюване джерело енергії

У сучасних умовах розвитку світової економіки особливої актуальності набуває проблема забезпечення енергетичної безпеки та зменшення залежності від викопних видів палива. Зростання цін на нафту, виснаження природних ресурсів і негативний вплив на довкілля зумовлюють необхідність переходу до альтернативних та поновлюваних джерел енергії. Одним із перспективних напрямів у цій сфері є використання біопалив, зокрема біоетанолу.

Біоетанол являє собою етиловий спирт, отриманий із біомаси рослинного походження шляхом ферментації цукрів або крохмалю. Він використовується як самостійне паливо або як добавка до бензину з метою підвищення октанового числа та зниження шкідливих викидів. На відміну від традиційних енергоносіїв, біоетанол є поновлюваним ресурсом, що робить його важливим компонентом сучасної енергетичної політики.

Вагомий внесок у дослідження проблем виробництва та використання біопалив зробили українські науковці, зокрема В. Г. Калетнік, В. І. Гавриш, М. Ю. Мироненко, Л. В. Гуцаленко та інші. У їхніх роботах розглядаються економічні, технологічні та екологічні аспекти розвитку ринку біопалив, а також перспективи їх впровадження в агропромисловому комплексі України.

Біоетанол належить до рідких біопалив і є одним із найбільш поширених видів альтернативного моторного палива у світі. Його використання дозволяє суттєво зменшити викиди парникових газів, зокрема діоксиду вуглецю, що є важливим фактором у боротьбі зі зміною клімату. Крім того, застосування біоетанолу сприяє підвищенню енергетичної незалежності держав та розвитку сільського господарства.

Сировиною для виробництва біоетанолу виступають різні види рослинної біомаси. До основних джерел належать цукровмісні культури (цукровий буряк, цукрова тростина), крохмалевмісні культури (кукурудза, пшениця, ячмінь), а також лігноцелюлозна сировина (солома, деревина, відходи сільського

господарства). Найбільш поширеною сировиною у світі є кукурудза та цукрова тростина.

Біотехнології в енергетиці представляють технології, одержані у промислових масштабах енергії із різних видів відновлюваної сировини біологічного походження (газоподібного, твердого та рідкого біопалива). Біомаса існує у вигляді цілої низки форм, на кшталт, волога чи тверда біомаса, цукор та рослинна олія. Усю цю сировину можливо перетворювати у цінний енергетичний продукт, застосовуючи біологічні, термічні і хімічні процеси. Згідно із М. Ю. Мироненко, пропонується класифікувати біомасу та біоенергетичні джерела в залежності від їх кінцевого призначення:

- рідкі біопалива: метил, рослинні олії, складний ефір (чи біодизель) можуть застосовувати як в суміші із дизелем, так й у чистому вигляді;
- виробництво електричної енергії та когенерація електричної і теплової енергії;
- рідкі та тверді залишкові продукти нерідко застосовуються у якості добрив на фермах;
- біогаз, котрий отримується внаслідок анаеробного зброджування, здебільшого застосовується у процесах когенерації;
- виробництво тепла [16, с. 26-27].

В наш час в усьому світі мають місце глобальні зміни в структурі виробництва енергії. Такі тенденції вже спричинили те, що на сьогоднішній день частка різних видів біопалива у загальному обсязі споживання енергії складає понад 14% (рис. 1.1).

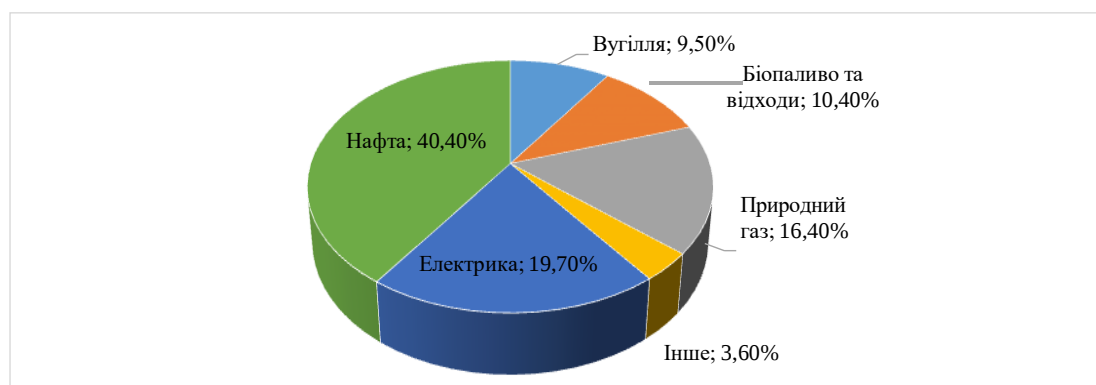


Рис. 1.1. Структура споживання енергії в світі (2019 р.) [25]

В сільському господарстві 19% цукрової тростини, 17% врожаю кукурудзи і 13% виготовленої рослинної олії спрямовуються на виробництво біопалива [10]. Біологічне паливо чи біопаливо (англ. biofuels) являє собою органічні матеріали, такі як спирти, відходи і деревина, які застосовуються для виробництва енергії. Це є поновлюваним джерелом енергії, на відміну від інших природних ресурсів, таких як вугілля, ядерне паливо та нафта. Офіційне визначення біопалива звучить наступним чином «паливо мінімум із 80% вмістом (за об'ємом) матеріалів, одержаних від живих організмів, зібраних у межах десяти років перед виробництвом» [21 с. 173].

Біопаливо представляє продукт із високою доданою вартістю. Випуск такого виду палива вирішує одразу декілька завдань, які стоять перед сільгосптоваровиробниками: дозволяє ефективно переробляти некондиційну продукцію і відходи сільгоспвиробництва; розширює ринок збуту; дає змогу підвищити загальну рентабельність виробництва [10, с. 29].

Біопаливо виробляється внаслідок термічної обробки органічних сполук (біомаси) без доступу повітря, так званого піролізу. Як біомасу прийнято визначати усі органічні речовини як тваринного, так й рослинного походження, джерелом котрих слугує нині існуюча біосфера нашої планети [13, с. 37].

Терміном «біопаливо» охоплюються усі види рідкого чи транспортного палива, котрі виробляють із біомаси. Форми біомаси для її застосування як біопалива являються доволі різноманітними. Біомаса, у вигляді енергетичного ресурсу може мати кілька напрямів застосування: її можливо спалювати (у вигляді гранул, тирси, паливних брикетів, деревини), переробляти в рідкі біопалива (біодизель, біоетанол), до того ж виготовляти біогаз [9, с. 169].

В. І. Гавриш, здійснюючи дослідження проблеми розвитку виробництва і споживання біологічних палив у нашій країні, зробив класифікацію альтернативних видів палива, в тому числі: рідкі (для бензинових двигунів і для дизельних двигунів) та газоподібні (штучні і природні) [6, с. 57].

Розглянемо визначення біоетанолу. «Біоетанол – це спирт етиловий зневоджений, виготовлений із біомаси чи спирту етилового-сирцю задля використання як біопалива» [17, с. 12].

«Біоетанол являє собою обезводнений етиловий спирт із супутніми домішками, октанове число – 106, вироблений із біомаси й/або біологічно розкладних компонентів. Застосовується у якості кисневмісної присадки до дизеля, бензину чи як біологічно відновлюваний альтернативний замінник бензину» [3].

Технологічний процес виробництва біоетанолу включає декілька основних стадій: підготовку сировини, гідроліз (оцукрювання), ферментацію, дистиляцію та зневоднення спирту. Особливістю виробництва біоетанолу є можливість комплексного використання сировини з отриманням побічних продуктів, таких як кормові добавки (барда), вуглекислий газ та біогаз.

Залежно від виду сировини, біоетанол поділяється на три покоління:

- перше покоління — отримується з харчових культур (кукурудза, пшениця, цукровий буряк);
- друге покоління — виробляється з лігноцелюлозної сировини (солома, деревина);
- третє покоління — отримується з водоростей.

Незважаючи на значні переваги, біоетанол має і певні недоліки. До них належать відносно низька теплота згоряння порівняно з бензином, гігроскопічність, залежність від врожайності сільськогосподарських культур, а також конкуренція з продовольчим використанням сировини. Проте сучасні наукові дослідження спрямовані на вдосконалення технологій виробництва та використання біоетанолу, що дозволяє поступово усувати зазначені проблеми.

Світове виробництво біоетанолу демонструє стабільну тенденцію до зростання. Лідерами у цій галузі є США та Бразилія, які забезпечують понад 80% світового виробництва. У країнах Європейського Союзу активно впроваджується використання біоетанолу як компонента моторного палива (суміші E5, E10, E85).

В Україні виробництво біоетанолу має значний потенціал завдяки наявності розвиненого аграрного сектору та достатньої сировинної бази. Основними напрямками розвитку є використання кукурудзи, цукрових буряків та відходів сільськогосподарського виробництва. Важливим фактором є також державна підтримка розвитку біоенергетики та впровадження нормативних вимог щодо використання біопалив.

Таким чином, біоетанол є перспективним альтернативним джерелом енергії, що поєднує економічні, екологічні та соціальні переваги. Його розвиток сприяє зменшенню залежності від викопних ресурсів, підвищенню енергетичної безпеки та сталому розвитку агропромислового комплексу.

1.2 Сировина для виробництва біоетанолу

Виробництво біоетанолу базується на використанні різноманітної біологічної сировини, яка містить вуглеводи, здатні до ферментації. Основною умовою придатності сировини є наявність цукрів або сполук, що можуть бути перетворені на прості цукри (глюкозу, фруктозу) для подальшого зброджування.

Залежно від хімічного складу та походження, сировину для виробництва біоетанолу поділяють на три основні групи:

- цукровмісну;
- крохмалевмісну;
- лігноцелюлозну.

Цукровмісна сировина містить прості цукри, які безпосередньо використовуються в процесі ферментації. До неї належать цукровий буряк, цукрова тростина, меляса. Така сировина характеризується високою швидкістю переробки та значним виходом етанолу.

Крохмалевмісна сировина включає зернові культури, такі як кукурудза, пшениця, ячмінь. Перед ферментацією крохмаль підлягає гідролізу до простих цукрів за допомогою ферментів.

Лігноцелюозна сировина представлена відходами сільського господарства та лісової промисловості (солома, деревина, стебла рослин). Вона є найдоступнішою, але технологічно складнішою для переробки.

Основні види сировини для виробництва біоетанолу

Задля виробництва біоетанолу застосовують цукровмісну і крохмалевмісну сировину. Крохмалевмісна сировина містить зернові культури (тритікале (крохмаль 67%); пшениця (крохмаль 58%); сорго (багаса) (крохмаль 60%); кукурудза (крохмаль 65%); цукрові буряки (меляса)), а цукровмісна – відтік виробництва цукру – тростинне сокоутворення, багаса, меляса й інші. Відповідно до думки С. П. Циганкова, до однієї із найбільш перспективних для нашої країни біоенергетичних культур для виробництва біоетанолу відноситься сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench) [22].

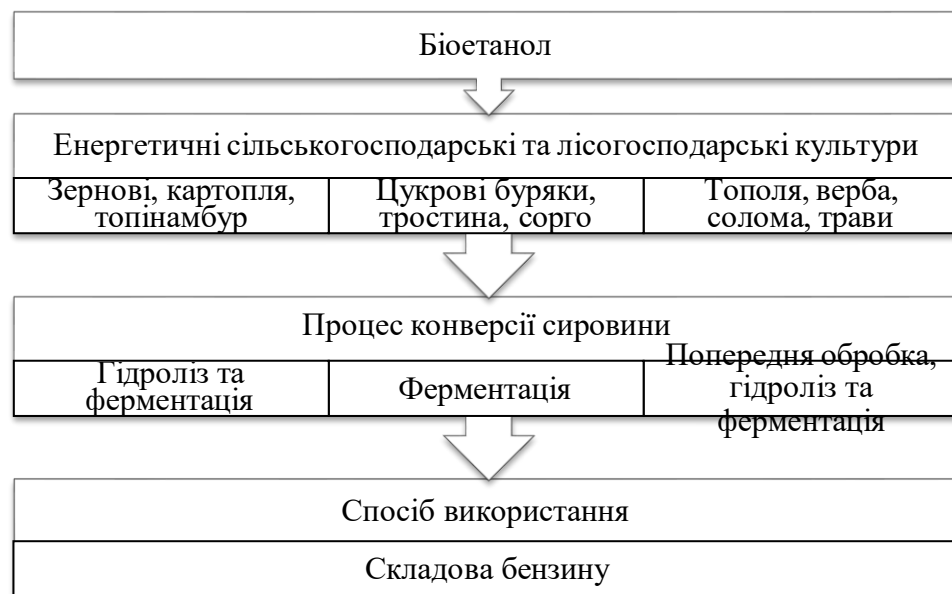


Рис. 1.2. Джерела отримання біоетанолу та способи утворення : [9, с.172]

У той же час, відзначимо, що відповідно до інших досліджень в умовах України найефективнішою сировиною для виробництва біоетанолу виступає кукурудза [19].

Представимо потенціал виходу біоетанолу із різних видів сировини у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Потенціал біоетанолу із різних видів сировини

Сировина	Біоетанол, л/т (кг/т)	Суха барда, кг/т	CO ₂ , кг/т	Всього, кг
Ячмінь	330 (265)	470	265	1 000
Жито	357 (285)	365	350	1 000
Пшениця	375 (300)	330	370	1 000
Тритикале	385 (310)	310	380	1 000
Кукурудза	430 (345)	310	345	1 000

Отже, можемо бачити, що кукурудза володіє найвищими показниками виходу продуктів – біоетанолу, DDGS, CO₂ – із 1 тонни сировини.

Подивимось на технологію виробництва біоетанолу. Першим кроком до отримання етанолу із рослинної біомаси виступає подрібнення і попереднє оброблення. Найбільш перспективними технологіями виступають ферментні процеси (рис. 1.3) [27].

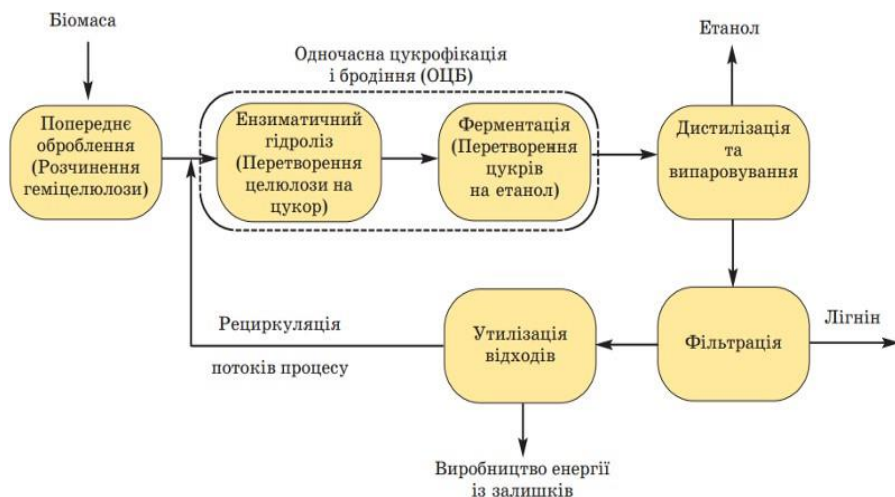


Рис. 1.3. Узагальнена технологія виробництва біоетанолу : [15, с. 21; 27]

Уже протягом кількох десятиліть світовий ринок біоетанолу успішно розвивається, та загальні обсяги виробництва вимірюються мільярдами літрів.

Відповідно до оцінок Міжнародного енергетичного агентства, в 2022 році було вироблено понад 114 млрд. л. Лідерами даного напрямку виступають Сполучені Штати Америки (50% світового обсягу виробництва, здебільшого із зерна кукурудзи) та Бразилія (31%, сировина – цукрова тростина) [8] (рис. 1.4).

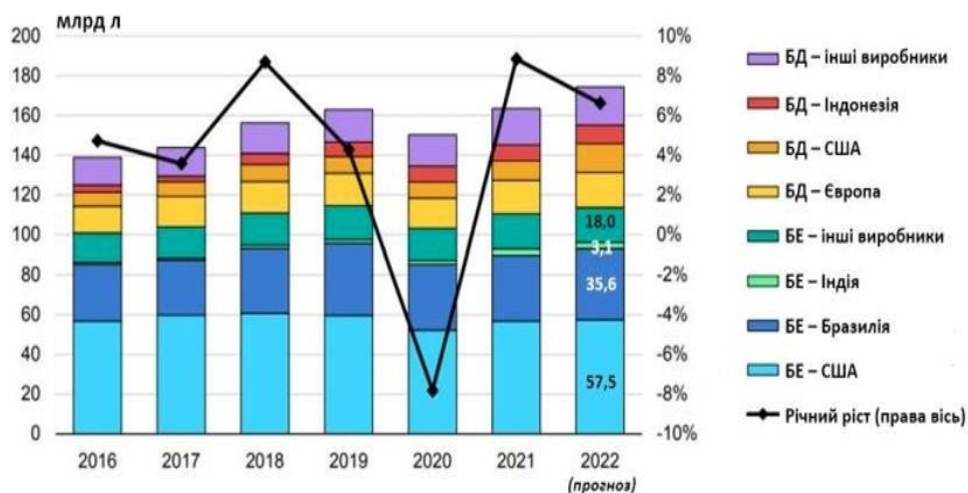


Рис. 1.4. Лідери з виробництва метанолу

Найбільш поширені види сировини та їх характеристики наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Основні види сировини для виробництва біоетанолу

Вид сировини	Основні культури / матеріали	Вміст вуглеводів, %	Вихід біоетанолу, л/т	Переваги
Цукровмісна	Цукровий буряк, меляса, тростина	15–25	70–110	Простота переробки
Крохмалевмісна	Кукурудза, пшениця, ячмінь	60–75	350–430	Висока продуктивність
Лігноцелюлозна	Солома, деревина, відходи	40–60	200–300	Дешевизна, доступність

Дані таблиці свідчать про те, що найбільший вихід біоетанолу забезпечує крохмалевмісна сировина, зокрема кукурудза, яка широко використовується у промисловому виробництві.

Характеристика окремих видів сировини

Кукурудза як основна сировина

Кукурудза є найпоширенішою сировиною для виробництва біоетанолу у світі. Вона характеризується високим вмістом крохмалю (до 70%), стабільною врожайністю та доступністю. Крім того, при переробці кукурудзи утворюється побічний продукт — суха барда (DDGS), яка використовується як високопротеїновий корм.

Цукровий буряк і меляса

В Україні значну роль відіграє цукровий буряк та меляса — побічний продукт цукрового виробництва. Меляса містить до 50% цукрів і не потребує складної підготовки перед ферментацією, що робить її економічно вигідною сировиною.

Лігноцелюозна сировина

До цієї групи належать солома, деревина, рослинні залишки. Основною перевагою є їх доступність та низька вартість. Однак складна структура (наявність лігніну) ускладнює процес гідролізу, що потребує застосування сучасних технологій.

Порівняння ефективності різних видів сировини

Для оцінки ефективності використання різних видів сировини доцільно враховувати не лише вихід біоетанолу, але й економічні та екологічні показники.

- кукурудза — найвищий вихід і економічна ефективність;
- меляса — низька собівартість;
- солома — екологічна перевага.

1.3.Основні підприємства України, що виробляють біоетанол

Виробництво біоетанолу в Україні формується на базі наявної спиртової промисловості, яка історично орієнтувалася на випуск харчового етилового спирту. Поступова переорієнтація частини підприємств на виробництво паливного біоетанолу відбувається в умовах реформування галузі, лібералізації ринку та зростання попиту на альтернативні види палива. Ключову роль у цьому процесі відіграють державні та приватні підприємства, що мають відповідну технологічну базу та доступ до сировини.

Центральним суб'єктом спиртової галузі тривалий час залишалося державне підприємство Укрспирт, яке об'єднувало більшість спиртових заводів країни. До складу підприємства входили десятки виробничих майданчиків, розташованих у різних регіонах України, зокрема в Вінницька область, Тернопільська область, Львівська область та Черкаська область. Більшість із них мають потенціал для модернізації та переходу на виробництво біоетанолу, оскільки технологія отримання паливного спирту є близькою до традиційної спиртової технології.

У межах реформування галузі частина заводів була приватизована або передана в оренду, що сприяло залученню інвестицій та оновленню виробничих потужностей. На сучасному етапі в Україні функціонує понад 20 підприємств, які можуть виробляти біоетанол або мають відповідні технічні можливості. Загальна встановлена потужність таких підприємств оцінюється більш ніж у 500 млн літрів біоетанолу на рік, хоча фактичне завантаження виробництва залишається значно нижчим.

Серед приватних виробників важливе місце займає УТК (Українська технологічна компанія), яка спеціалізується на впровадженні сучасних біотехнологій у переробній промисловості. Компанія реалізує проєкти з глибокої переробки зернової сировини, включаючи виробництво біоетанолу, кормових продуктів та біогазу. Її діяльність спрямована на створення комплексних безвідходних виробництв, що відповідають сучасним екологічним вимогам.

Окрему увагу слід приділити підприємствам, що використовують як сировину цукрову мелясу — побічний продукт цукрового виробництва. Такі заводи розташовані переважно в регіонах із розвиненим бурякоцукровим комплексом, зокрема у Хмельницька область та Полтавська область. Використання меляси дозволяє підвищити економічну ефективність виробництва біоетанолу завдяки нижчій вартості сировини та наявності готової інфраструктури.

Перспективним напрямом розвитку є будівництво нових заводів із глибокої переробки зерна. Зокрема, компанія Газтранзит ініціювала проєкт створення підприємства з виробництва біоетанолу на основі пшениці. Такі проєкти передбачають використання сучасних технологій ферментації та ректифікації, що дозволяє отримувати високоякісний продукт із мінімальними витратами енергії.

Важливою особливістю сучасних біоетанольних підприємств є їх комплексний характер. Окрім основного продукту, вони виробляють супутню продукцію, зокрема:

- суху барду (DDGS), що використовується як високобілковий корм;
- вуглекислий газ для харчової та промислової галузей;
- біогаз із відходів виробництва.

Це значно підвищує рентабельність виробництва та сприяє формуванню замкнених технологічних циклів.

Попри наявність значного виробничого потенціалу, розвиток галузі стримується низкою факторів. Серед них — нестабільність законодавчої бази, відсутність обов'язкових норм щодо використання біоетанолу в паливних сумішах, а також конкуренція з імпортними нафтопродуктами. Водночас, у Європейський Союз вже діють жорсткі вимоги щодо частки відновлюваних джерел енергії у транспортному секторі, що стимулює розвиток біоетанольної галузі.

Потреба в здійсненні досліджень в галузі виробництва біоетанолу зумовлена тим, що застосування біоетанолу як моторного палива являє собою

один із перспективних шляхів декарбонізації сектору транспорту, водночас ефективність цього виступає істотно вищою при споживанні сумішевих бензинів із високою часткою даного біопалива (E85). До того ж, виробництво біоетанолу має цілу низку макроекономічних переваг, зокрема таких, які представлено на рис. 1.5.

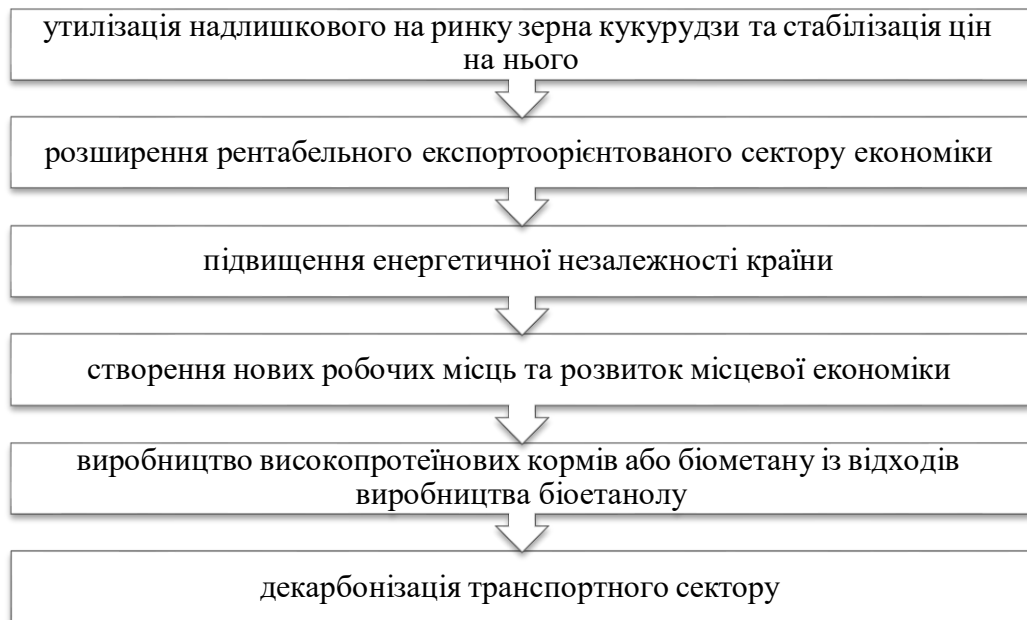


Рис. 1.5. Ключові переваги виробництва біоетанолу

В Україні також поступово впроваджуються подібні підходи. Згідно з енергетичною стратегією, передбачається збільшення частки біопалив у транспортному секторі, що створює передумови для зростання внутрішнього попиту на біоетанол. Це, у свою чергу, може стимулювати модернізацію існуючих підприємств та будівництво нових виробничих потужностей.

Таким чином, виробництво біоетанолу в Україні базується на поєднанні традиційної спиртової промисловості та сучасних біотехнологічних рішень. Наявність значної сировинної бази, розвиненої інфраструктури та наукового потенціалу створює сприятливі умови для подальшого розвитку галузі. Водночас, для повної реалізації цього потенціалу необхідне вдосконалення державної політики підтримки біопалив та активізація інвестиційної діяльності у відповідному секторі економіки.

У нашій країні існують 22 невеликих біоетанолових заводи, котрі в цілому можуть виробляти понад 500 млн. л/рік. Із них сім представляють нові приватні виробництва, інші є реконструйованими старими державними заводами. На сьогоднішній день на повну потужність стабільно функціонують менше половини зі всіх господарюючих суб'єктів [14].

Ключовою з-поміж них виступає Українська технологічна компанія UTC – інтегрована інжинірингово-виробнича компанія, яка впроваджує біотехнології на суб'єктах господарювання мікробіологічної, переробної і харчової промисловості.

Блокада вітчизняних портів та проблеми із експортом аграрної продукції змінили ситуацію в напрямок міркувань та дій стосовно переробки даної продукції всередині країни. До одного із можливих напрямків відноситься виробництво біоетанолу із зерна. Так, на кшталт, в грудні 2022 року компанія «Газтранзит» підписала угоду на розробку проєкту із будівництва заводу із переробки пшениці на паливний етанол. В першому кварталі 2023-го теж планується початок проєктування ще трьох заводів із глибокої переробки агросировини із одержанням біопалива у різних регіонах нашої країни. Наша держава володіє суттєвим потенціалом біомаси, який доступний для виробництва газоподібних і рідких моторних біопалив. Відповідно до оцінок 2021 року, даний потенціал для виробництва біоетанолу складає 0,86 млн. т. н. е. на рік, а до 2050-го може зрости до 1,29 млн. т. н. е [8].

Проблема виробництва та застосування біопалив виступає багатогранною, відповідно шляхи вирішення останніх лежать в кількох площинах:

- 1) пошук та опрацювання ефективних технологій одержання енергії, забезпечення економічного і нормативного супроводу застосування біопалив;
- 2) розроблення сучасних технологій перетворення сировини на потрібні види біопалив, до того ж застосування побічних продуктів;
- 3) пошук і створення найбільш ефективних джерел біопалив (здебільшого

рослинних ресурсів) [5, с. 66].

В наш час економічно вигідним виступає виробництво біоетанолу із зерна кукурудзи. З метою досягнення рентабельного виробництва передового біоетанолу потрібно знаходити шляхи здешевлення операційних і капітальних витрат такого виробництва.

Розвиток цього напрямку передбачає подолання, щонайменше, головних бар'єрів, які існують в секторі моторних біопалив України.

Провідними рекомендаціями що стосуються біоетанолу виступають наступні:

- 1) ввести пільгове оподаткування на ввезення до нашої країни авто із гнучким вибором палива, котрі можуть застосовувати до 85% біоетанолу у якості палива;
- 2) знизити вимоги стосовно податкового векселя на повну ставку акцизу, потрібного при транспортуванні біоетанолу;
- 3) на законодавчому рівні потрібно встановити обов'язкову частку біоетанолу в бензині (обов'язкова частка 10% для існуючих двигунів, а на перспективу – до 50–85% для авто із гнучким вибором палива) [8].

Більш ніж 80 країн наразі мають політику підтримки рідкого біопалива. Ряд країн, у тому числі Сполучені Штати Америки, Канада, Литва і Китай, із 2021 року проголосили, що інвестують суттєві кошти у дослідження і впровадження біопалива. До того ж, в серпні 2022 року США прийняли Закон про зниження інфляції, котрим передбачається розширена і нова політика підтримки біопалива, в тому числі сучасного біопалива й екологічно чистого авіаційного палива. В 2021 році Індією було оновлено власну політику спільного спалювання біомаси, сконцентрувавшись на утилізації сільськогосподарських відходів й задля зниження забруднення повітря у сільській місцевості. Із 2021 року Великобританія, Швеція і Бразилія запровадили політику подальшого розвитку біопалива у власних економіках [23].

РОЗДІЛ 2.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Об'єктами досліджень були сусло, приготоване з крохмальвмісної сировини, продуценти етилового спирту *Saccharomyces cerevisiae*, процеси термоферментативної обробки і зброджування сусла та зріла бражка. В якості продуцентів етилового спирту використовували експериментальний штам дріжджів *S. cerevisiae* ДС-01-Е, адаптований до зброджування сусла підвищеної концентрації (ІПР НААН, Україна) та сухі дріжджі Thermosacc® Dry (Lallemand Biofuels & Distilled Spirits – Данія), які широко використовуються на підприємствах спиртової галузі.

Для проведення експериментальних досліджень проводили підготовчу роботу щодо подрібнення сировини – відходів кукурудзи для зброджування з метою одержання біоетанолу. Якісні показники відходів кукурудзи наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Показники якості сировини крохмальвмісної, що надходила на виробництво
(середнє значення)

Показник	Значення
Вміст крохмалю, %	58,34
Вміст домішки *, %	43,86
Вміст вологи в зерні, %	13,57

Сировину, що надходила на виробництво, очищували від мінеральних і органічних домішок розміром 2-3 см, зважували на електронних вагах, остаточне подрібнення сировини здійснювали на молоткових дробарках. Дисперсність помелу складала 96-98% проходу через сито з діаметром отворів 1,0 мм. Помел змішували з водою за температури 75°C.

Культивування дріжджів здійснювали в чотирьох дріжджегенераторах робочою ємністю 40 м³ кожний. При культивуванні дріжджів сусло збагачували азотом та фосфором в кількості:

- карбамід – 14 кг;
- ортофосфорна кислота – 6 л;
- глюкоамілаза – 4 л;
- протеаза – 0,5 л – на один дріжджегенератор.

Підкислення дріжджегенераторів проводили сірчаною кислотою до титрованої кислотності 0,3 (що відповідає рН 4,7-4,9).

Якісні показники технологічного процесу характеризували за вмістом не проферментованих вуглеводів та загально прийнятих методів у спиртовій промисловості:

- вміст крохмалю – поляриметрично;
- вміст домішок – гравіметрично;
- вміст вологи та сухої речовини – висушуванням в сушильній шафі;
- вміст залишкових вуглеводів та гліцеролу – за допомогою фотоелектрокольориметра;
- вміст спирту – спиртоміром;
- кислотність – потенціометрично.

РОЗДІЛ 3.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Апаратурне забезпечення технологічного процесу переробки меляси в біоетанол

Останніми роками у світі дедалі більше поширюється використання відновлюваних джерел енергії, зокрема застосування біоетанолу як компонента моторних палив. Найчастіше сировиною є зерно кукурудзи і меляса з буряка. Буряки або меляса, як сировина для біоетанолу має низку економічних та екологічних переваг над кукурудзою, пшеницею та іншими продуктами: по-перше, собівартість виробництва біопалива з меляси на 15–20 % нижча відповідного показника, що стосується найближчого конкурента – кукурудзи.

Бурякова меляса (beet molasses) – це побічна продукція бурякоцукрового виробництва, яка використовується як сировина для виробництва паливного біоетанолу, спирту, харчових кислот, хлібопекарських та кормових дріжджів і як добавка до корму сільськогосподарських тварин. Це густа в'язка непрозора рідина, темно-коричневий колір і характерний солодкий смак з гіркуватим присмаком.

Головним компонентом меляси є сахароза. У невеликих кількостях у ній містяться інвертний цукор (0,5-2,0%) та рафіноза (0,5-3,0%). У мелясі присутні також органічні сполуки (меланоїдини, органічні кислоти, азотисті речовини, продукти розпаду сахарози та ін.); у мелясі високий вміст солей калію, натрію, магнію, заліза, вугільної, сірчаної, соляної та азотної кислот. За кордоном вона виробляється з цукрової тростина, цукрового буряка, солодкого сорго та залишків цитрусових. В Україні меляса виготовляється лише в бурякоцукровому виробництві. Якісні показники меляси приведені нижче:



Зернові
(крохмаль 55%)



Кукурудза
(крохмаль 75%)



Тритикале
(крохмаль 60%)



Сорго
(крохмаль 65%)



Цукровий буряк
(цукристість 15%)

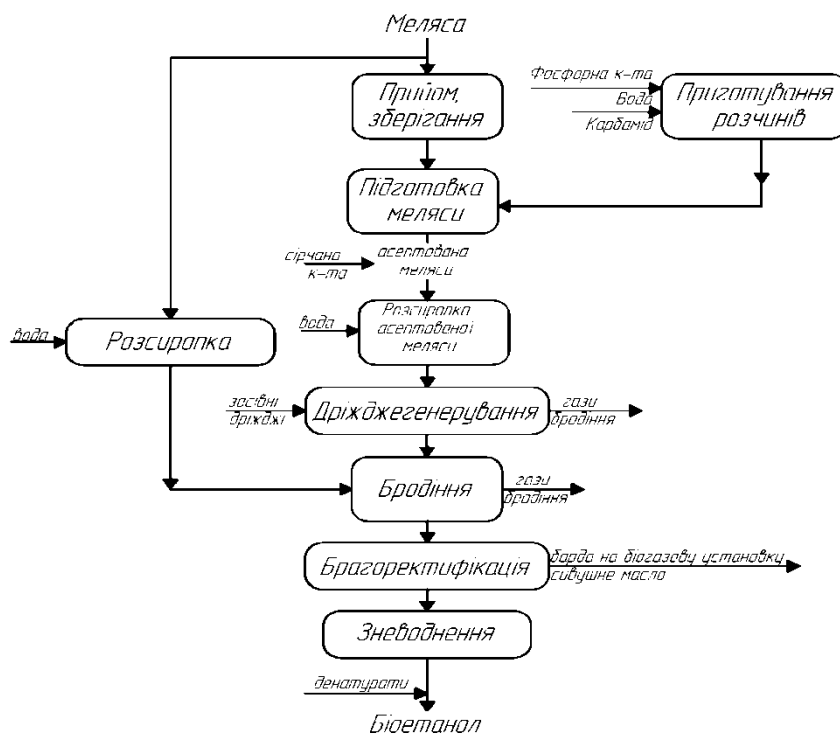


Меляса
(цукристість 50%)

Рис. 3.1. Найбільш популярна сировина в Україні для виробництва біоетанолу

На спиртових заводах, які переробляють мелясу, використовують наступні способи зброджування суслу:

- двопотоковий – для отримання одного продукту, спирту етилового (однопродуктове виробництво);
- однопотоковий – для отримання двох продуктів: спирту етилового та хлібопекарських дріжджів (двопродуктове виробництво).



Меляса, яка надходить для виробництва біоетанолу, проходить приймання (експрес аналізи якісних показників) та відправляється на зберігання. Перед переробкою меляса термічно обробляється (за необхідності), підкисляється, асептується та розбавляється водою (концентрація залежить від однопоточної чи двопоточної схеми). Подається на дріжджогенерування і перекачується в бродильні апарати на спиртове бродіння, де відбувається біосинтез етилового спирту:



Після закінчення бродіння дозріла бражка направляється на сепарацію або відразу на брагоректифікаційне відділення. В БРВ відбувається дистиляція, ектифікація та зневоднення. Таким чином виготовляється біоетанол з меляси.

Технологічний процес виробництва біоетанолу на мелясному середовищі відноситься до безвідходної технології, яка забезпечує підвищення рентабельності та практично не забруднює довкілля (рис.3.2). Меляса із фізико-хімічної точки зору – колоїдна рідина темно-коричневого забарвлення із густиною 1,35..1,40, де розчинені органічні та мінеральні речовини. У мелясі може міститися до 12 і більше відсотків цукрів (дицукридів та моноцукридів), які були нагромадження у цукрових буряках. У процесі переробки цукрового буряка в мелясу відходить від 3,5 до 5 % цукрів у перерахунку на суху речовину.

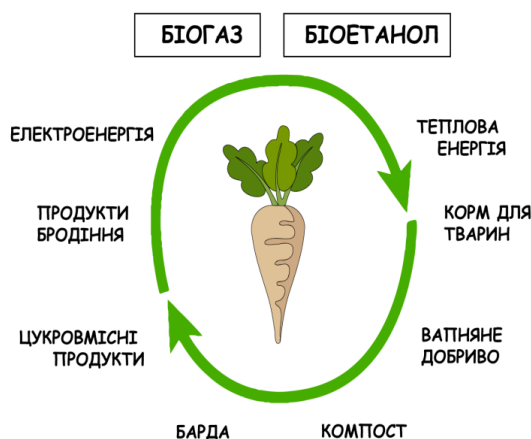


Рисунок 3.2. Технологічний процес виробництва біоетанолу

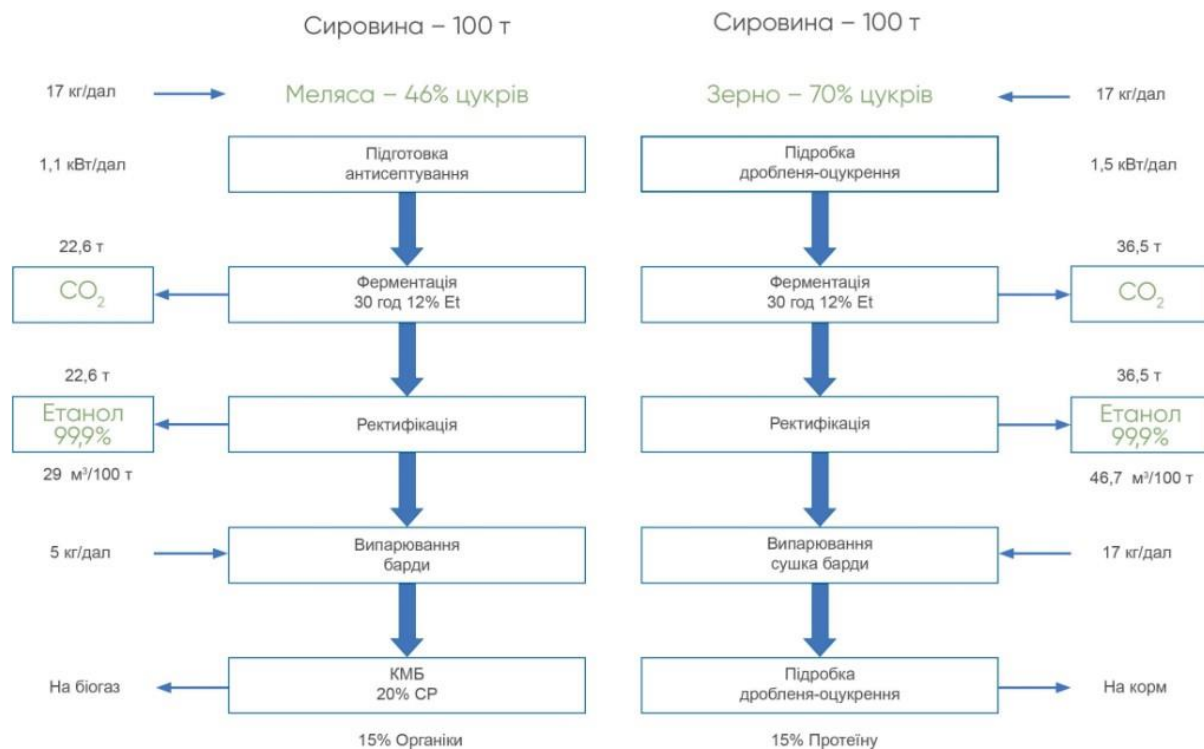


Рис.3.3. Характеристика технологій переробки м'яса і злакових на біоетанол

Серед різних видів сировини м'яса є найбільш вигідною для виробництва етилового спирту. У ній високий вміст зброджуваних цукрів, а також речовин, які потрібні для нормальної життєдіяльності дріжджів. При переробці м'яса спрощується технологічна схема, тому що виключаються операції розварювання сировини і оцукрювання крохмалю ферментами солоду або ферментних препаратів. У м'ясному суслі відсутні декстрини і неоцукрений крохмаль, тому воно швидше зброджується, при цьому зменшуються втрати зброджуваних вуглеводів і збільшується вихід спирту у перерахунку на умовний крохмаль, знижується собівартість спирту і зростає продуктивність праці. При комплексній переробці м'яса можна одержувати великий асортимент цінних для народного господарства продуктів.

Технологічний процес одержання біоетанолу починається із доправлення м'яса на завод у залізничних цистернах, м'ясу із цистерн зливають у приймальні збірники, а потім проводять змішування м'яса з кислотами та мінеральними речовинами, яке проходить у змішувачі (розсиропнику) (рис. 3.4).

За будовою він нагадує циліндричний горизонтальний корпус, де обертається вал із швидкістю 70...80 об/хв та часом перебування меляси до 10 с.

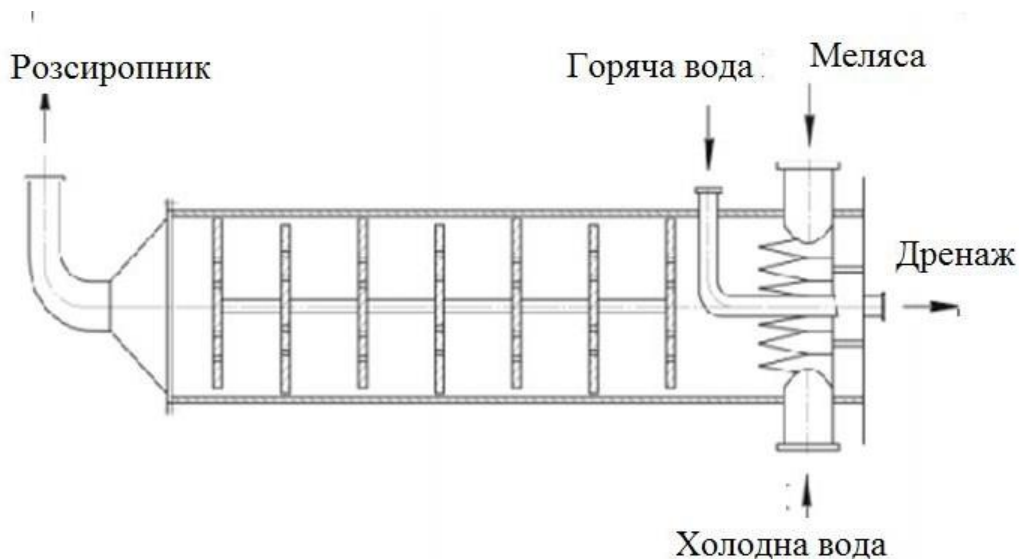


Рис.3.4. Змішувач

Підкислюють мелясу сульфатною (140 кг) та хлоридною (198 кг) кислотами на 1000 Дал спирту. Крім того, до меляси додають асептичні засоби з високою бактерицидною дією (табл.3.1).

Таблиця 3.1.

Регламентні норми абіотичних препаратів

Препарати	кг на 1000 Дал спирту
Хлорне вапнао	11,0
40%-ний формалін	5,0
Сульфонол	2,13

Затор витримують не менше 8 годин, а потім передають його на механічний вловлювач (рис. 2.4). Він представлений посудиною циліндричного типу з сітчастою перегородкою (вставкою), з отворами діаметром 5...10 мм. Сітчасту перегородку час від часу виймають і вручну очищають. Уловлювачі ставлять перед насосами, сітчасті перегородки уловлюють крупні домішки, що потрапили в заміс з водою чи мелясою.

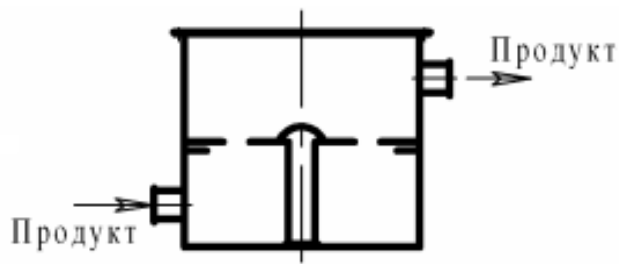


Рис.3.5. Конструкція уловлювача

Потім за допомогою помпи, затор подається у напірний збірник, а далі до 25% подається в бродильне відділення та дріжджегенераторне відділення – решта (рис.3.6).

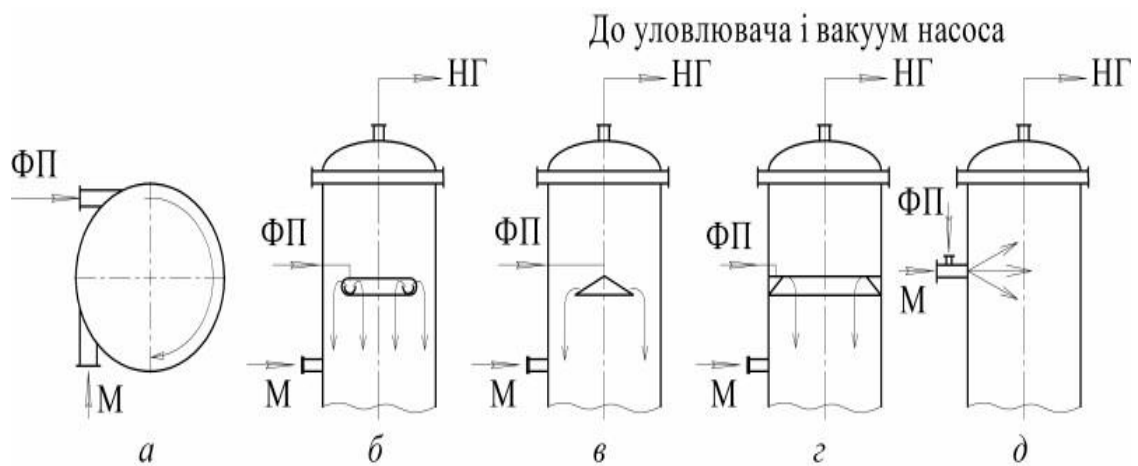


Рис. 3.6. Уведення ферментних препаратів:

ФП – ферментні препарати; НГ – неконденсовані гази; М – розварена м'яса

Чисту культуру дріжджів отримують в центральній лабораторії, а потім розводять в АЧК. З АЧК дріжджі перепускають з тисненим повітрям в дріжджегенератори. Перший дріжджегенератор заповнюється 8 годин. Вони з'єднані комунікаціями і заповнюються по чергові.

Закачавши перший дріждігенератор, сюди подається розсиропка із розсиропнику. У розсиропнику м'яса доводиться до концентрації 17% сухих речовин, $t=24-26^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=4.95-5.1$ і поступає безперервно на всі 5 дріжджегенераторів.

У теплообміннику охолоджують заміс до технологічної температури бродіння (рис.3.7).



Рис.2.6. Теплообмінник для охолодження оцукреної маси типу «труба в трубі»

При зброджуванні цукрів меляси, виділяється багато тепла, яке відводиться завдяки охолоджуваній воді, що подається на зміювик. При встановленій роботі дріжджі через спеціальні воронки, що встановлені у дріжджегенераторах, подаються у бродильне відділення. Зрілі дріжджі з дріжджегенераторів по комунікаціям самопливом потрапляють в перший головний бродильний апарат (рис.2.7).

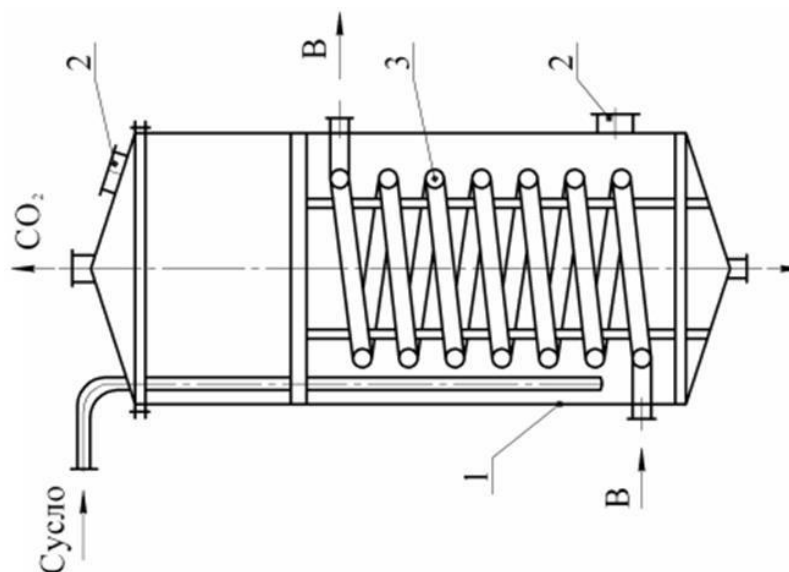


Рис.3.8. Бродильний апарат: 1 – стінка апарату; 2 – люк; 3 – зміювик.

Технологічні газуваті речовини: вуглекислий газ та етиловий спирт у спиртовловлювачі (рис.3.9).

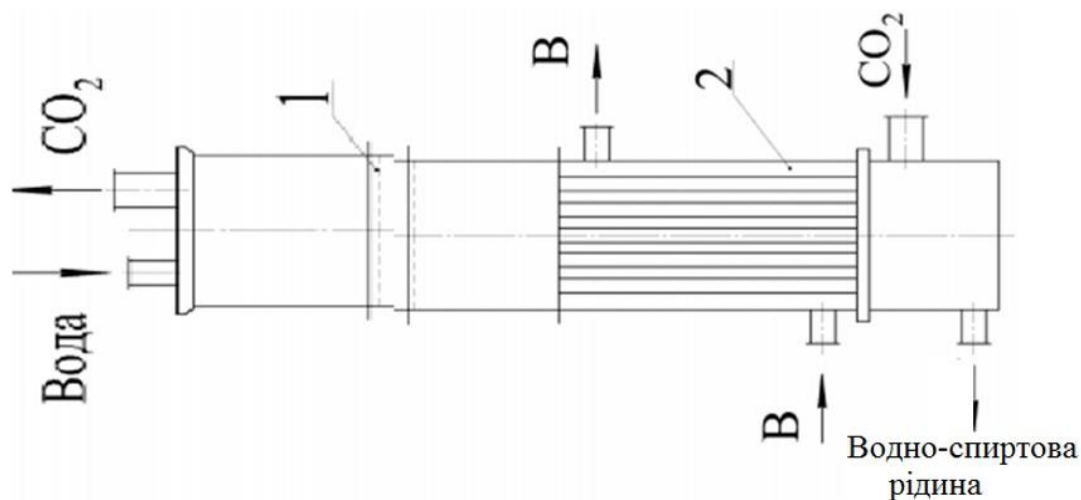


Рис.2.8. Спиртовловлювач: 1 – простір для крапельного контакту; 2 – трубчатий теплообмінник

Технологічна карта та апаратурне забезпечення зброджування меляси одно потоковим способом наведена на в табл.3.2 та на рис. 3.9.

Таблиця 3.2

Технологічна карта зброджування меляси одно потоковим способом

Показники	Одиниці виміру
Концентрація мелясної розсиропки, що надходить в дріжджегенератори	17,0%
Кислотність розсиропки	0,3-04 ⁰ Д
Температура в дріжджегенераторах	28-30 ⁰ С
Кислотність в дріжджегенераторах	0,3-0,5 ⁰ Д
рН в дріжджегенераторах	5,0-5,2
Біомаса дріжджів	20,0-25,0 г/л
Температура бродіння	28-30 ⁰ С
Кислотність в бродильних апаратах	0,5 ⁰ Д
Вміст алкоголю в зрілій бражці	6,0-8,5% об.
Біомаса дріжджів в дозрілій бражці	28-32 г/л.

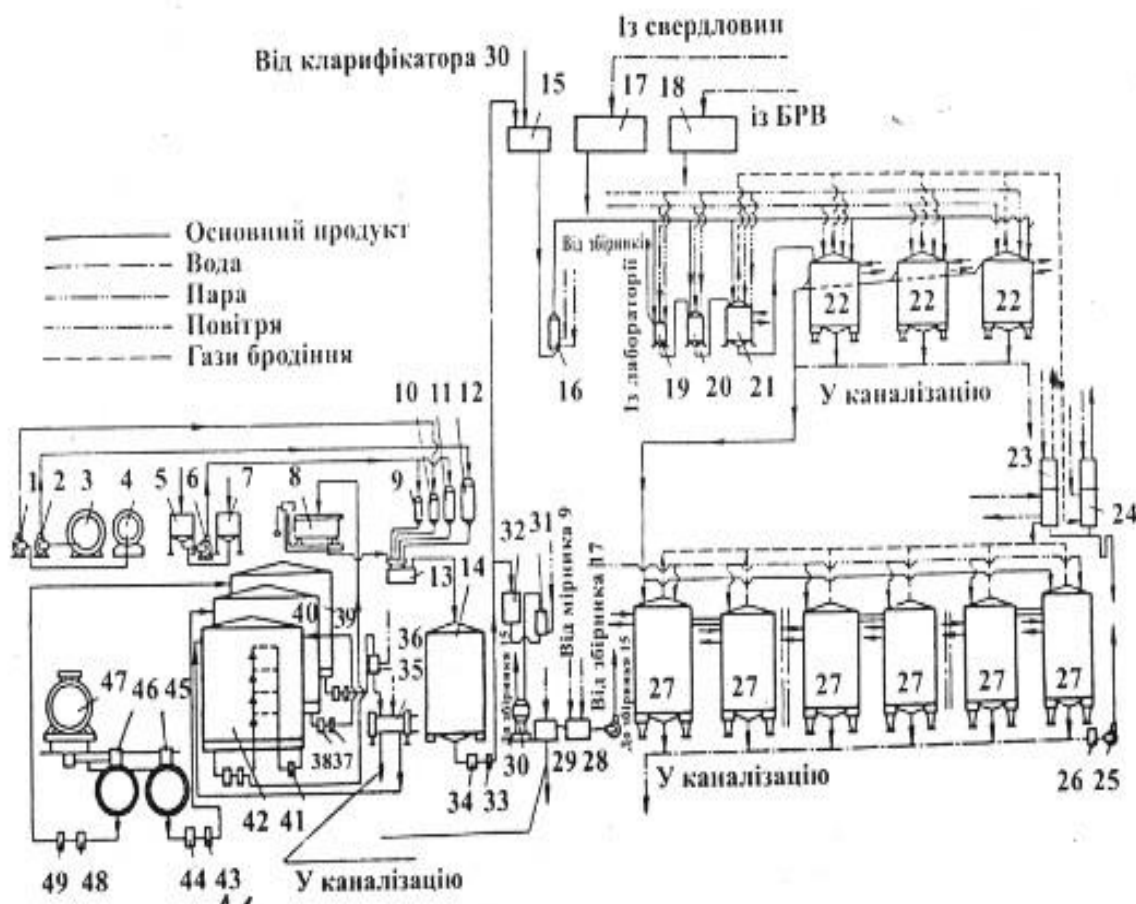


Рис. 3.10. Апаратурно-технологічна схема зброджування м'яса одно потоковим способом

Для одержання ректифікованого спирту із бражки використовується брагоректифікаційна установка з колоною кінцевої очистки. Зріла бражка відцентровим насосом подається в додатковий підігрівач, в якому підігрівається на $10-12^{\circ}\text{C}$. потім бражка подається в бражний підігрівач, в якому підігрівається до температури $80-90^{\circ}\text{C}$ теплом водно-спиртових парів з бражної колони.

Ректифікація – процес розділення багатокомпонентних рідких сумішей, розчинів на компоненти або групи компонентів-фракції шляхом тепло- і масообміну між рідинною і паровою фазами. З цього визначення апаратурне оформлення передбачає використання пристроїв для контакту рідинної і парової фаз, для утворення парової фази, її конденсації (рис. 2.10).

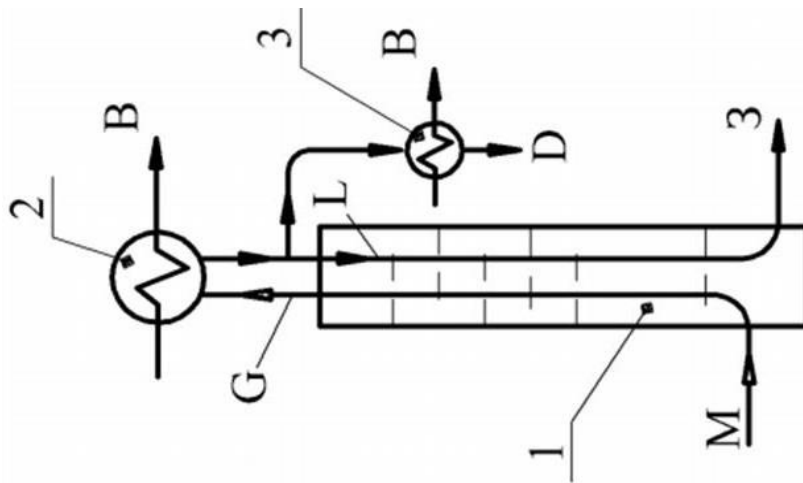


Рис. 3.11. Схеми концентраційної ректифікаційної колони.

У представленій схемі зображено апаратне оформлення процесу тепломасообміну, що використовується у виробництві біоетанолу. Конструкція включає теплообмінні елементи, трубопроводи та циркуляційні контури, які забезпечують передачу тепла між робочими середовищами.

Основним елементом установки є теплообмінник (1), в якому відбувається нагрівання або охолодження робочого середовища. Через внутрішній канал апарата рухається потік сировини або проміжного продукту (М), тоді як у міжтрубному просторі циркулює теплоносій, що подається через відповідні патрубки.

Вхідний потік (G) надходить у систему через насос або попередній теплообмінний вузол (2), де здійснюється первинне регулювання температури. Після цього середовище направляється до основного теплообмінника, де проходить процес теплообміну з іншим потоком.

Нагрітий або охолоджений продукт виходить із теплообмінника через вихідний патрубок (3), після чого може подаватися на наступні стадії технологічного процесу. Додатковий теплообмінник (В) забезпечує регулювання температури допоміжного потоку, який використовується для стабілізації режиму роботи системи.

Рух потоків у системі організований таким чином, щоб забезпечити максимально ефективний теплообмін, мінімізувати теплові втрати та підвищити енергетичну ефективність процесу. Використання подібної схеми дозволяє оптимізувати витрати енергії та покращити якість кінцевого продукту.

3.2.Сучасні технології одержання біоетанолу

Сучасні технологічні рішення щодо одержання етилового спирту і біоетанолу можуть використовувати різноманітні субстрати (сировину) як харчового призначення, так й побічні відходи переробної промисловості та сільського господарства. Одержання етилового спирту харчового призначення має свої особливості (рис. 3.11) та складаються із наступних стадій:

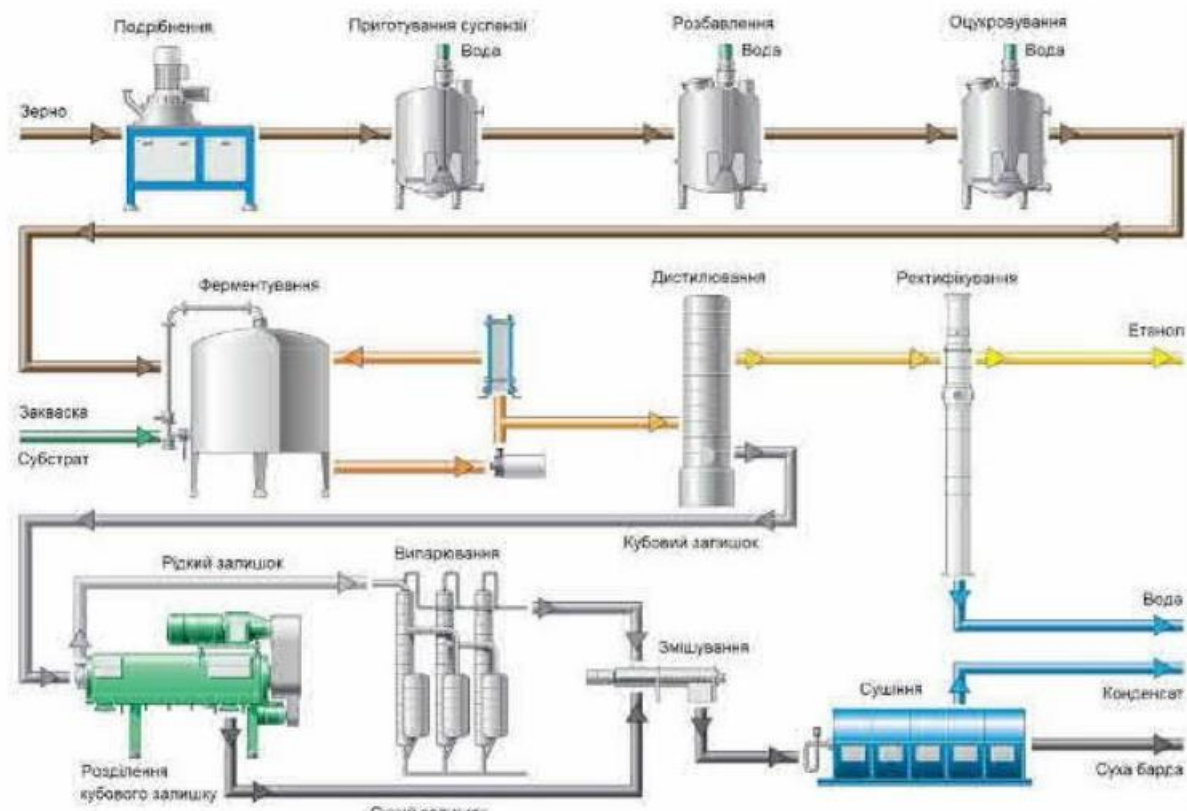


Рис. 3.12. Виробництво харчового етилового спирту за технологією “сухого” способу

1) технологічна підготовка (очистка та подрібнення) цукро- чи крохмальовмісної сировини: зерна злаків, кукурудзи, картоплі, топінамбура,

тощо;

- 2) бродіння – розщеплення під дією гідролітичних ферментів дріжджів полі-, ди- та моноцукридів у етиловий спирт;
- 3) процес розділення та виділення цільової продукції з браги.

Технологія отримання біоетанолу на промисловій основі подібна з технологією отримання харчового етилового спирту, хоча має певні особливості, а саме технологія отримання паливного спирту здійснюється у "мокрий" спосіб (рис. 3.12).

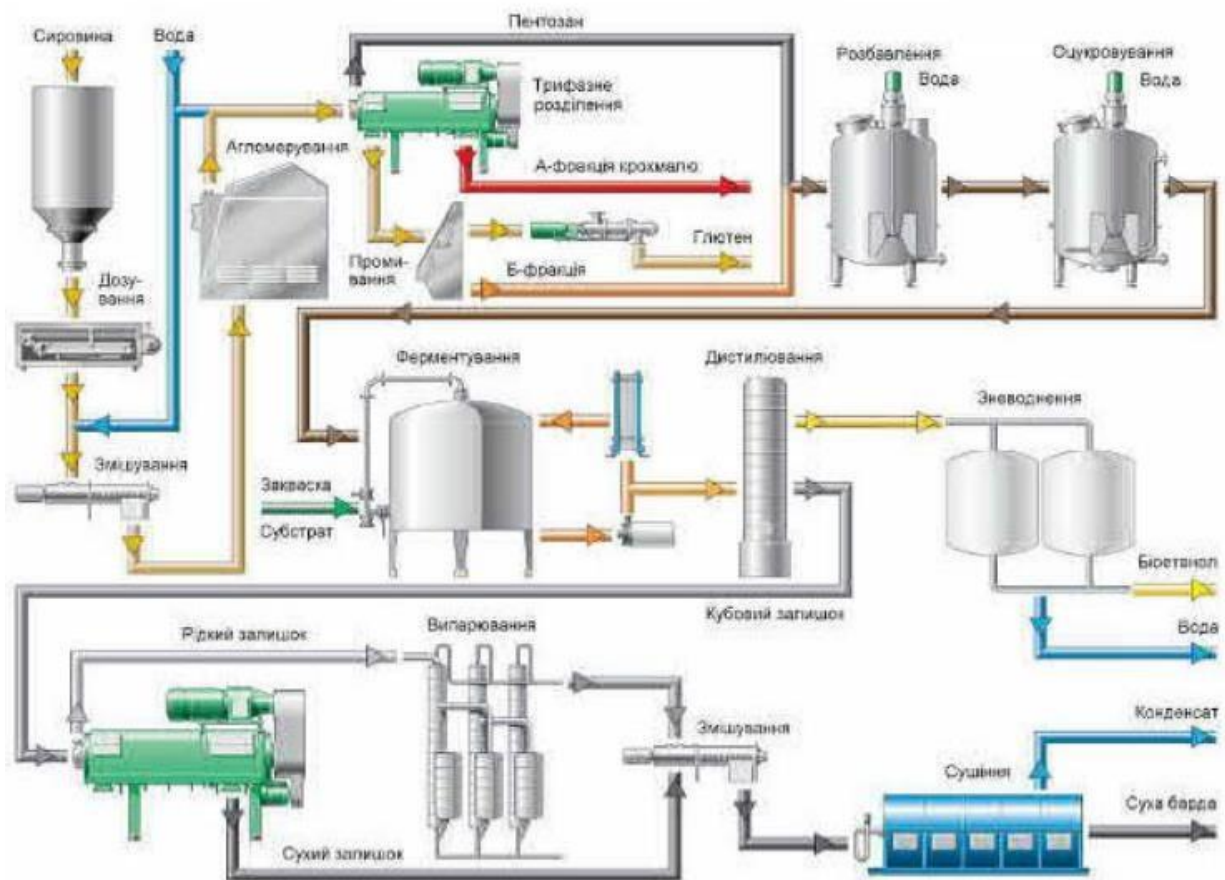


Рис. 3.12. Виробництво паливного етилового спирту (біоетанолу) за технологією “ мокрого” способу

У "мокрому" процесі спочатку виділяють глютен і крохмаль, який потім спрямовують на виробництво етанолу, у "сухому" глютен не виділяють. Для виробництва біоетанолу, зазвичай, достатньо двох ректифікаційних колон, тоді як на заводі харчового спирту таких колон п'ять.

Технологічні особливості та апаратурне забезпечення процесу виробництва біоетанолу залежить від вибраної сировини (рис. 3.13):

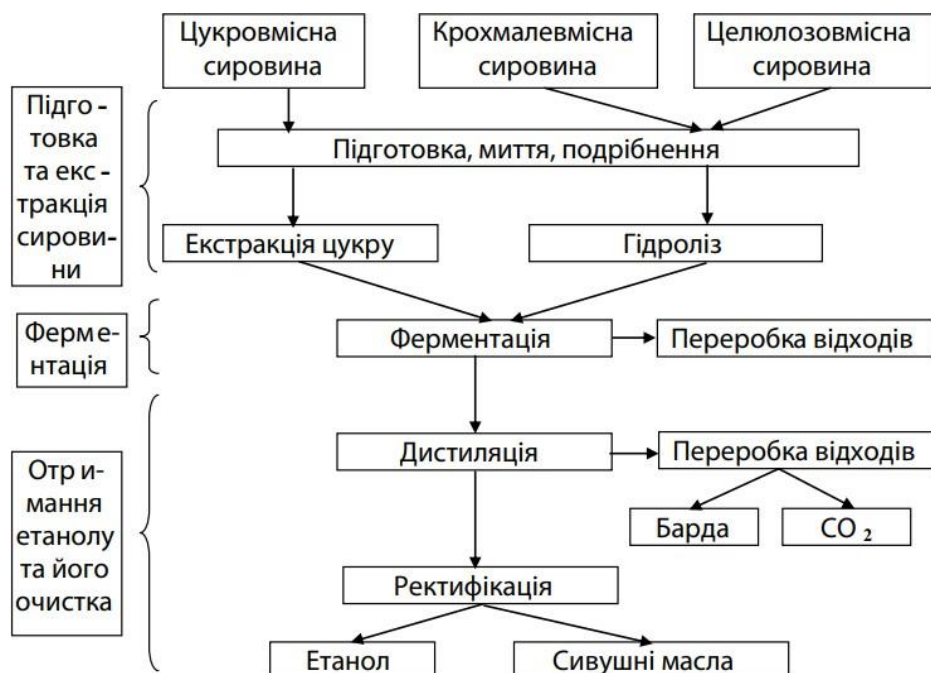


Рис. 3.13. Схема виробництва етанолу

Етиловий спирт паливного призначення можна одержувати із клітковини та інших органічних відходів АПК із значним вмістом поліцукридів (рис.3.14). Особливості даної технології зводиться до того, що одержаний продукт – етиловий спирт необхідно додатково зневоднити, бо додавання до бензину 96% етанолу призводить до розшарування бензин- спиртової суміші.

Зазвичай, зневоднення біоетанолу здійснюють на молекулярних ситах – мікропористих тілах, що вибірково поглинають речовини, молекули яких менші, ніж розміри мікропор. Процес зневоднення на молекулярних ситах відбувається таким чином: парова фаза (що складається з води та етанолу) надходить в між трубний простір апарата зневоднення; водяна пара проходить крізь керамічну трубку з цеолітовим наповненням і захоплюється вакуумним насосом, а пара етанолу (молекули якого більше, ніж пори сита) виходить з апарата і прямує до конденсатора зневодненого етанолу.

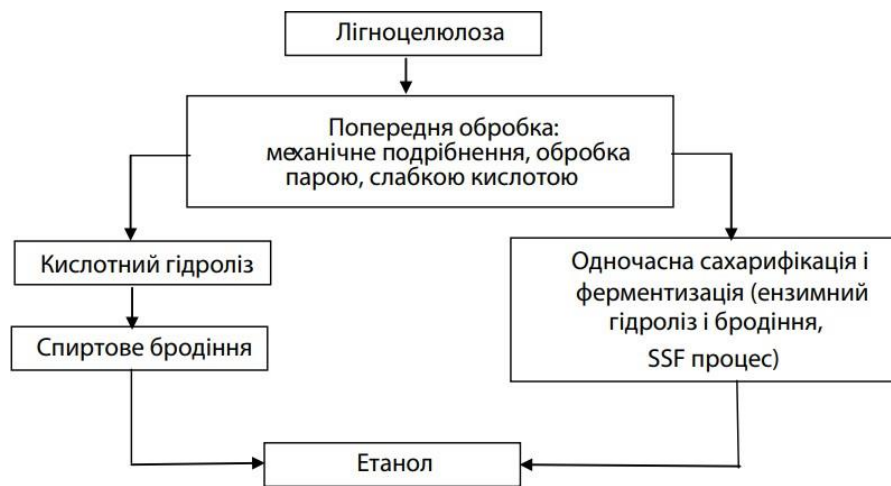


Рис.3.14. Технологічні особливості переробки клітковини в етиловий спирт паливного призначення

Технологічна характеристика якісних показників паливного етилового спирту для утворення бензин-спиртової суміші наведений у табл. 3.3

Таблиця 3.3

Якісні показники біоетанолу		
№ п/п	Назва показника	Норма показника
1.	Зовнішній вигляд та колір	Прозора безбарвна рідина або світло жовтого забарвлення
2.	Густина за температури (20±0,1)0С, 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 C ₃ - C 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

3.3.Особливості ферментації субстрату з відходів кукурудзи продуцентами біоетанолу

Ферментація вуглеводовмісної сировини є ключовим етапом біотехнологічного виробництва біоетанолу, оскільки саме на цій стадії відбувається біоконверсія цукрів у етиловий спирт під дією мікроорганізмів. Особливу увагу в сучасних дослідженнях приділяють використанню відходів кукурудзи як доступної та економічно доцільної сировини, що дозволяє зменшити витрати виробництва та підвищити ресурсоефективність агропромислового комплексу.

Відходи кукурудзи (качани, стебла, листя, оболонки зерна) характеризуються високим вмістом лігноцелюлозних компонентів — целюлози,

геміцелюлози та лігніну. Для залучення цих полімерів у процес ферментації необхідне попереднє оброблення сировини, яке включає механічне подрібнення, термічну або хімічну деструкцію, а також ферментативний гідроліз. У результаті таких перетворень складні вуглеводи розщеплюються до простих цукрів (глюкози, ксилози), які можуть бути засвоєні мікроорганізмами-продуцентами.

Основними продуцентами біоетанолу є дріжджі роду *Saccharomyces*, зокрема *Saccharomyces cerevisiae*, які мають високу спиртоутворюючу здатність, стійкість до етанолу та швидкий метаболізм. Однак традиційні штами здатні ефективно зброджувати переважно гексози, тоді як пентозні цукри (наприклад, ксилоза), що містяться у геміцелюлозі, використовуються обмежено. У зв'язку з цим актуальними є дослідження щодо застосування генетично модифікованих або адаптованих штамів дріжджів і бактерій (*Zymomonas mobilis*), здатних до більш повного використання лігноцелюлозної сировини.

Процес ферментації субстрату з відходів кукурудзи здійснюється за певних технологічних параметрів, які суттєво впливають на вихід етанолу. Оптимальна температура для спиртового бродіння становить 28–32 °C, pH середовища підтримується на рівні 4,5–5,5, що забезпечує активність ферментних систем і пригнічує розвиток сторонньої мікрофлори. Тривалість процесу залежить від концентрації субстрату та активності продуцентів і, як правило, становить 48–72 години.

Особливістю ферментації кукурудзяних відходів є наявність інгібуючих речовин, що утворюються під час попередньої обробки сировини (фурфурол, гідроксиметилфурфурол, органічні кислоти). Ці сполуки можуть негативно впливати на життєдіяльність мікроорганізмів, знижуючи швидкість ферментації та кінцевий вихід біоетанолу. Для мінімізації їх впливу застосовують методи детоксикації гідролізатів, адаптацію штамів або оптимізацію умов гідролізу.

В лабораторії були відтворені аналогічні до виробничих умови ферментації дріжджами відходів кукурудзи. Тривалість ферментації із

теоретичним синтезом спирту 10%об складав згідно з регламенту тривав 55 годин, а за концентрації 13%об – 75 годин, таблиця 3.4.

Таблиця 3.4

Фізико-хімічні показники бродильної проби

Показник	Наважка подрібненої сировини, г	
	65	85
Вміст спирту, % об.	9,8	12,6
Загальний вміст незброджених вуглеводів, г/100см ³	0,478	0,536
Водорозчинні вуглеводи, г/100см ³	0,374	0,416
Нерозчинений крохмаль, г/100см ³	0,09	0,11
Вміст декстринів, г/100см ³	0,19	0,20
Спирторозчинні вуглеводи, г/100см ³	0,157	0,196
Істинний вміст сухих речовин, %	3,0	4,1
Вміст гліцерину, г/100см ³	0,83	0,95
Вихід спирту з тони сировини, дал	37,69	37,06
Вміст цукру, введенного на бродіння, г	37,11	47,52
Втрати з незбродженим цукром, % від введенного на бродіння	3,22	2,82

Аналізуючи вищезазначені показники, можна зробити висновок, що підвищення вмісту спирту до 12,6%об призвело до зменшення його виходу з тони сировини на 0,63 Дал. Зниження втрат з незбродженим цукром в бродильній пробі з вищим вмістом спирту пояснюється більшою тривалістю бродіння. Вміст гліцеролу за умов зброджування суслу підвищеної концентрації сухими дріжджами зростає на 11,8% порівняно зі зброджуванням суслу з вмістом сухих речовин на рівні 17,5-18%.

Було проведено порівняння зброджування суслу з відходів кукурудзи з використанням сухих дріжджів закордонної селекції та штаму ДС-01-Е. Для цього експериментальний штам розмножили через систему апаратів чистої культури (АЧК) та дріжджегенераторів та передали в бродильний апарат №4. У бродильному апараті №9 використовували сухі дріжджі Thermosacc® Dry (рис. 3.5)

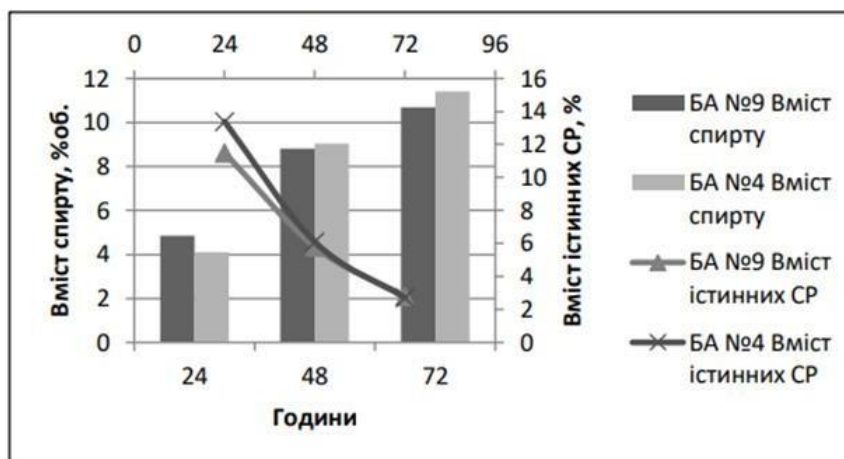


Рис. 3.5. Динаміка вмісту спирту та істинних СР в БА №9 та №4

Процес ферментації відходів кукурудзи проводили двома штамами дріжджів (експериментальним штамом чистої культури та селекційним закордонним штамом сухих дріжджів), що доби проводили контрольні заміри. Динаміка синтезу етилового спирту та вмісту сухої речовини наведені на рис. 3.5, а динаміка вмісту вільних не проферментованих цукрів та трьохатомного спирту – гліцеролу наведена на рис. 3.16.

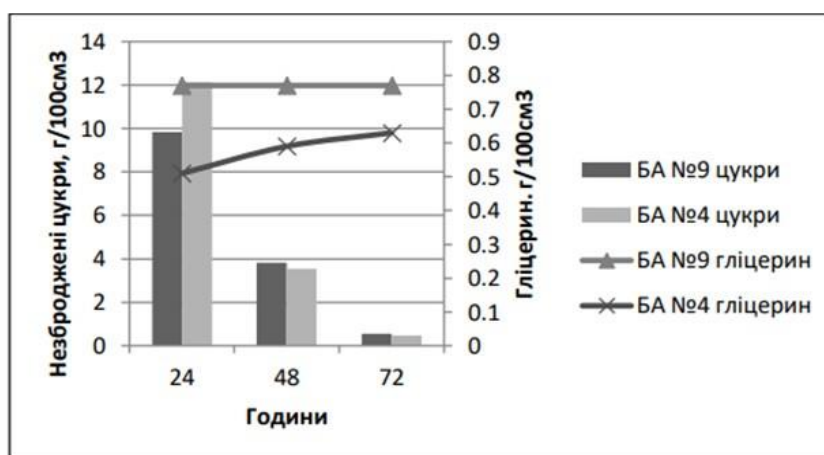


Рис. 3.6. Динаміка вмісту розчинних цукрів та гліцеролу в бродильних апаратах №9 та №4

Слід зазначити, що експериментальні дріжджі, що були введені в бродильний апарат №4, в АЧК культивувались за температур ($\geq 36^{\circ}\text{C}$), що негативно позначилось на бродильній активності дріжджів. Це спричинило уповільнення швидкості зброджування на стадії головного бродіння. Однак вже на другу добу вміст спирту в бражці БА №4 був вищим на 2,8%, а на третю добу – на 6,5% у порівнянні з БА, в який було введено розчин із сухих дріжджів.

Динаміка не використаних цукрів штамами дріжджів на 24 годину експерименту в першому зразку (експериментальні дріжджі) була на 17,4% вищою порівняно із другим зразком, де використовували дріжджі закордонної селекції. Однак, на 48, а особливо на 72 добу різниці між використанням цукрів із бражки досліджуваними популяціями дріжджів не було поміченим.

Накопичення гліцеролу в бродильному апараті №9 вже в першу добу на рівні $0,77 \text{ г/100см}^3$ вказує на те, що дріжджі зазнають певного осмотичного стресу, цей показник є стабільним впродовж всього періоду бродіння. Щодо БА №4, то вміст гліцерину в ньому незначно зростав у порівнянні з першою добою. Однак, загалом вміст гліцеролу в зрілій бражці при використанні в якості продуценту експериментального штаму був нижчим на 18,2% порівняно з сухими дріжджами.

Таблиця 3.6.

Фізико-хімічна характеристика якості зрілої бражки за ферментації за використання сухих дріжджів та експериментальних дріжджів

Показник	Бродильний апарат	
	Сухі дріжджі (БА №9)	Експериментальні дріжджі (БА №4)
Вміст спирту, % об.	10,70	11,40
Загальний вміст незброджених вуглеводів, г/100см^3	0,56	0,48
Водорозчинні вуглеводи, г/100см^3	0,45	0,46
Нерозчинений крохмаль, г/100см^3	0,09	0,02
Вміст декстринів, г/100см^3	0,21	0,26
Спирторозчинні вуглеводи, г/100см^3	0,24	0,17
Істинний вміст сухих речовин, %	+2,8	+2,7
Вміст гліцерину, г/100см^3	0,77	0,63
Вміст цукру, введеного на бродіння,	17,07	18,07
Втрати з незбродженим цукром, % від введеного на бродіння	3,28	2,66

Як видно з таблиці 3.3, експериментальні дріжджі характеризувались нижчим рівнем накопичення гліцерину в зрілих бражках (0,57-0,63 проти 0,77-0,95 г/100см³), більш глибоким ступенем зброджування вуглеводів сировини (2,10-2,66 проти 2,64-3,28 г/100 см³). Окрім цього, зменшення вмісту незброджених вуглеводів в бражці був спричинений зменшенням вмісту водорозчинних вуглеводів з 0,21-0,24 г/100см³ до 0,08-0,17 г/100см³бражки.

Важливим напрямом удосконалення технології є впровадження процесів одночасного оцукрювання та бродіння (SSF — simultaneous saccharification and fermentation), що дозволяє поєднати ферментативний гідроліз і спиртове бродіння в одному апараті. Такий підхід сприяє зменшенню втрат цукрів, підвищенню концентрації етанолу та зниженню витрат на обладнання.

Крім того, застосовуються безперервні та напівбезперервні режими ферментації, що забезпечують стабільність процесу та підвищення продуктивності біореакторів. У таких системах важливу роль відіграє підтримання високої концентрації активної біомаси, що досягається шляхом іммобілізації клітин або рециркуляції дріжджів.

Отже, використання відходів кукурудзи як субстрату для ферментації є перспективним напрямом розвитку біоенергетики. Основними факторами, що визначають ефективність процесу, є якість попередньої обробки сировини, вибір високопродуктивних штамів мікроорганізмів, оптимізація умов бродіння та зниження впливу інгібіторів. Комплексний підхід до вирішення цих завдань дозволяє значно підвищити вихід біоетанолу та економічну ефективність виробництва.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано сучасний стан виробництва біоетанолу в Україні та світі, подана характеристика сировини, яка використовується для виробництва спирту та мікроорганізми-продуценти.
2. Вибрано ферментер для біосинтезу цільового продукту, визначено методи контролю процесу ферментації та можливість його автоматизації. Наведений опис апаратурно-технологічної схеми виробництва біоетанолу при спиртовому зброджуванні м'ясного сусла в періодичному і безперервному процесах.
3. Проаналізовано технологічні особливості одержання етилового спирту паливного призначення із клітковини та інших органічних відходів АПК. Особливості даної технології зводиться до того, що одержаний продукт – етиловий спирт необхідно додатково зневоднити, бо додавання до бензину 96% етанолу призводить до розшарування бензин-спиртової суміші.
4. Встановлено, що експериментальний штам дріжджів у виробничих умовах забезпечував вищий вміст спирту в бражці на 6,5%, за рахунок зменшення накопичення гліцеролу. Отримані результати свідчать про доцільність заміни сухих дріжджів закордонної селекції експериментальним штамом.
5. Виробництво біоетанолу із м'яси на теренах Західної України можна вважати доцільним та економічно вигідним, перш за все через близьке розташування сировинної бази.
6. Таким чином, сировина є ключовим фактором ефективності виробництва біоетанолу. Найбільш перспективними для України є крохмалевмісні культури (кукурудза) та відходи цукрового виробництва (м'яса). Водночас, розвиток технологій переробки лігноцелюлозної сировини відкриває нові можливості для розширення сировинної бази та підвищення екологічної ефективності біоетанолу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Цілі сталого розвитку Україна: добровільний національний огляд. Департамент стратегічного планування та макроекономічного прогнозування. К. 2020. 117 с.
2. Гелетуха Г.Г. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні [Електронний ресурс] Г.Г. Гелетуха. Режим доступу: www.uabio.org%2Fuabionews%2F3837-geletukha-presentation-agropetrol2019&usg=AOvVaw06Ew1lbKGLfcRi1ox8aw bL
3. Калетнік Г.М. Виробництво та використання біопалив в Україні: економетричні підходи, моделювання . Г.М. Калетнік, Н.В. Буреннікова, Н.А. Потапова. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2018. № 9. С. 7–23.
4. Сичевський М. П. Біосинтез етилового спирту різними расами дріжджів в умовах підвищеної концентрації сусле. М. П. Сичевський, С. Т. Олійнічук, К. О. Данілова. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2016. № 5.
5. Гунчак Т. І. Особливості вирощування сорго цукрового в якості сировини для виробництва біопалива в умовах Південно-західного Лісостепу України. Т. І. Гунчак. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2014. Вип. 21. С. 240-244.
6. Калетнік Г.М. Альтернативна енергетика України: особливості функціонування і перспективи розвитку: монографія. Калетнік Г.М., Олійнічук С.Т., Скорук О.П. та ін. Вінницький нац. аграрний ун-т. Вінниця: Вінницький нац. аграрний ун-т. 2012. 250 с.
7. Олійнічук, С. Т. Спиртове виробництво та енергетична безпека України [Текст] С. Т. Олійнічук, Н. С. Коткова. Економіка АПК. 2014. №4. С. 61-68.
8. Климчук О.В., Висоцька В.В. Виробництво біоетанолу – перспективна галузь в Україні. Климчук О.В., Висоцька В.В. Збірник наукових праць ВНАУ №1(56). Том 3. 2012. С. 98-103.

9. Система використання біоресурсів у новітніх біотехнологіях отримання альтернативних палив. Блюм Я.Б., Григорюк І.П., Дмитрук К.В. та ін. К. Аграр Медіа Груп, 2014. 360 с.
10. Зануда А. Біопаливо – черговий шанс для України [Електронний ресурс] А. Зануда. – Режим доступу: http://www.bbc.co.uk/ukrainian/business/2011/04/110405_bioenergy_az_ob.shtml
11. Осадчук В. Д. Вирощування енергетичних багаторічних злакових трав та сорго цукрового в умовах Буковини [В. Д. Осадчук, Т. І. Гунчак, Л. І. Мікус, О. М. Крижанівський] Екологічні проблеми традиційних і альтернативних видів енергії. Горбуновські читання. Чернівці: ЧФ НТУ «ХПІ», 2014. С. 93-95.
12. Внукова Н. В. Альтернативне паливо як основа ресурсозбереження і екобезпеки автотранспорту. Н. В. Внукова, М. В. Барун. Альтернативные источники энергии. 2011. № 9. (91). С. 45–55.
13. Калетнік Г.М. Біопаливо: ефективність його виробництва та споживання в АПК України: навч. посібник/ Г.М. Калетнік, В.М. Пришляк. К: «Хай-Тек Прес». 2010. 312 с.
14. Золотарьова О. Куди прямує біопаливна індустрія?/Золотарьова О., Шнюкова Є. Вісник НАН України, 2010. № 4. С. 10-20.
15. Гойсюк Л.В. Економічна ефективність виробництва сировини для переробки на біопаливо. Л.В. Гойсюк . Економіка АПК. 2010. № 6. С. 46.
16. Паламарчук І. П. Обґрунтування технології та обладнання для попередньої обробки крохмалевмісної сировини при виробництві спирту. І. П. Паламарчук, В. П. Янович, І. М. Купчук . Вибрації в техніці та технологіях. 2013. № 4 (72). С. 112–116.
17. Бабич І.М., Бойко П.М., Бондар М.В. Технологічні та економічні аспекти виробництва спирту етилового різного цільового призначення. Наукові праці. Одеська національна академія харчових технологій. Одеса, 2021. Випуск 85, Том 2. С. 77–83.

18. Chi K., Catchmark J.M. Improved eco-friendly barrier materials based on crystalline nanocellulose/chitosan/carboxymethyl cellulose polyelectrolyte complexes, Food Hydrocoll. 2018, 80, 195–205, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.003>
19. Інтернет ресурс: <http://www.ethanolrfa.org/news/entry/global-ethanolproduction-to-reach-85.2-billion-litres-in-2012/>
20. Коденська М. Доцільність виробництва етанолу з вихідної продукції цукробурякової галузі. М. Коденська. Збірник наукових праць Вінницького НАУ. Вип. 42. Т. 2. 2010. С. 50-55.
21. Климчук О.В., Висоцька В.В. Виробництво біоетанолу-перспективна галузь в Україні. Климчук О.В., Висоцька В.В. Збірник наукових праць ВНАУ №1(56) Том 3 2012 С. 98-103.
22. Industry Statistic World Fuel Ethanol Production [Virtual Resource] Access Mode: URL: <http://ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/#1454098996479-8715d404-e546>. Title from Screen . Date of Access: 28 February 2017.
23. Ганженко О.М., Хіврич О.Б., Дубовий Ю.П., Сенчук С.М., Саєнко П.І., Зиков П.Ю. Строки збирання буряків цукрових – як важливий фактор в технології їх вирощування для виробництва біоетанолу. Біоенергетика. Bioenergy. 2019. №2 (14). С. 13-15.
24. Третяк В.М., Больбут В.С., Ганженко О.М., Мазуренко А.М. Ефективність використання пального рослинного походження для живлення двигунів внутрішнього згоряння сільськогосподарських машин. Збірник наукових праць ІБКіЦБ. 2013. №19. С.163-167.
25. Польська фірма пропонує використання соломи в якості джерела енергії. URL: <http://www.biowatt.com.ua/novosti/polska-firma-proponuye-vikoristannya-solomi-v-yakosti-dzherela-energiyi/> (дата звернення: 20.02.2022).
26. Фурман І.В., Ратушняк Н.О. Перспективи виробництва біопалив в умовах реформування земельних відносин. Економіка, фінанси, менеджмент:

актуальні питання науки і практики. 2021. № 3(57). С. 53–68. DOI: <https://doi.org/10.37128/2411-4413-2021-3-4>

27. Селінний М.М. Світові тенденції виробництва біопалива. Агроінком. 2013. №1-3. С. 60-62.

28. Кусяк Г. Т. Використання цукрового сорго, як біоенергетичної культури при виробництві біоетанолу [Г. Т. Кусяк, Ю. А. Думанська, В. А. Кучерява, Н. М. Омельченко] Екологічні проблеми традиційних і альтернативних видів енергії. Горбуновські читання. Чернівці: ЧФ НТУ «ХП», 2014. С. 56-58

29. Шевченко І. Л. Аспекти використання біоетанолу як альтернативного джерела енергії . Цукрові буряки. 2009. №3. С. 14 – 15.

30. Українець А. Спиртова галузь на шляху до інноваційного розвитку / А. Українець, Л. Хомічак, П. Шиян, С. Олійничук // Харчова і переробна промисловість. 2007. № 12. С. 16-19.

31. Михайлов Ю. Друга кукурудзяна авантюра. Пропозиція. 2007. №5. С. 20–22.

32. Зброджування суслу підвищеної концентрації з крохмалевмісної сировини С.Т. Олійничук, Т.І. Лисак, О.О. Коваль. . Продовольчі ресурси: збірник наукових праць. НААН; Ін-т прод. Ресурсів НААН 2016. №7 ст. 139-143.