МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Біолого-технологічний факультет

Спеціальність
181 «Харчові технології»

«Допускається до захисту»
Завідувач кафедри безпечності та якості харчових продуктів, сировини і технологічних процесів
доцент_____С.В. Чернюк

«1»_____12_____ 2025року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

«АНАЛІЗ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СПИРТУ»

Виконав(ла) Барищполь Владислав Миколайович_____
прізвище, ім'я, по батькові, підпис

Керівник доцент Чернюк С.В.
вчене звання, прізвище, ініціали підпис

Рецензент _____
вчене звання, прізвище, ініціали підпис

Я, Барищполь Владислав, засвічую, що кваліфікаційну роботу виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.

Біла Церква – 2025

ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу здобувачу……..... 3
АНОТАЦІЯ…….. 4
ANNOTATION……..... 5
Відгук керівника роботи…….. 6
ВСТУП…… 7
1. Огляд літератури ……..……..... 9
1.1 Спиртова галузь: перспективи розвитку**……..** 9
2. МЕТОДОЛОГІЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ……. 14
3. РОЗРОБЛЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ …….. 16
3.1 Вимоги до сировини і матеріалів…….. 16
3.2 Продуктовий розрахунок …….. 21
3.3 Апаратурно-технологічне забезпечення…….. 26
3.4 Опис технології …….. 29
4. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ПРОДУКТУ, ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА……... 33
5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ……... 37
ВИСНОВКИ…….. 40
ПРОПОЗИЦІЇ…… 41
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ…….. 42

АНОТАЦІЯ

Баришполь Владислав Миколайович

«АНАЛІЗ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СПИРТУ»

У кваліфікаційній роботі здійснено аналіз сучасного стану спиртової промисловості України та розглянуто технологічні процеси виробництва етилового спирту з крохмалевмісної сировини. Особливу увагу приділено питанням ефективності використання зернової сировини, оптимізації параметрів бродіння, зниженню енерговитрат та підвищенню якості готової продукції. Проведено огляд наукових джерел, технологічних рішень і сучасних методів переробки кукурудзи як основної сировини. У роботі запропоновано вдосконалену технологічну схему виробництва етилового спирту із використанням ферментних препаратів, термостійких дріжджових культур, енергозберігаючого обладнання та елементів екологізації виробництва.

Виконано продуктовий розрахунок потреби сировини, ферментів та допоміжних матеріалів, визначено оптимальні умови оцукрювання і бродіння, розроблено апаратурно-технологічне забезпечення виробництва. Окремо розглянуто питання контролю якості сировини, проміжних продуктів, готового спирту, а також систему екологічного контролю з метою зниження негативного впливу виробництва на довкілля. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованих удосконалень, що підтверджує їх доцільність і здатність підвищувати вихід спирту та рентабельність підприємства.

Результати дослідження можуть бути впроваджені на вітчизняних спиртових підприємствах для підвищення продуктивності, конкурентоспроможності та безпечності технологічних процесів.

Ключові слова: етиловий спирт, кукурудза, крохмалевмісна сировина, ферментні препарати, дріжджі, бродіння, енергозбереження.

ANNOTATION

Baryshpol Vladyslav

“ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF ETHANOL PRODUCTION TECHNOLOGY”

The qualification paper analyzes the current state of the Ukrainian alcohol industry and examines the technological processes involved in producing ethyl alcohol from starch-containing raw materials. Special attention is given to the efficiency of grain utilization, optimization of fermentation parameters, reduction of energy consumption, and improvement of the quality of the final product. The work includes a review of scientific sources, technological solutions, and modern methods of processing corn as the primary raw material. An improved technological scheme for ethyl alcohol production is proposed, based on the use of enzyme preparations, thermotolerant yeast cultures, energy-efficient equipment, and elements of environmentally friendly production.

A product-based calculation of raw material, enzyme, and auxiliary material requirements has been carried out, along with the determination of optimal conditions for saccharification and fermentation, and the development of apparatus and technological support for the production process. Special consideration is given to quality control of raw materials, intermediate products, and final alcohol, as well as to the environmental monitoring system aimed at reducing the negative impact of production on the environment. A techno-economic assessment of the proposed improvements confirms their feasibility and their potential to increase alcohol yield and enhance enterprise profitability.

The results of the study can be implemented at domestic alcohol production facilities to improve productivity, competitiveness, and safety of technological processes.

Keywords: ethyl alcohol, corn, starch-containing raw materials, enzyme preparations, yeast, fermentation, energy saving.

ВСТУП

Спиртова промисловість є складовою частиною харчової індустрії. Етиловий спирт має широке застосування в різних галузях. Основним його споживачем є харчова промисловість, де він використовується для виготовлення лікеро-горілчаної продукції, плодово-ягідних напоїв, кріплення виноматеріалів і купажування вин, а також у виробництві оцту, харчових ароматизаторів, парфумерії та косметики [4, 18, 27]. У мікробіологічній та медичній промисловості спирт застосовують для осадження ферментних препаратів із культуральних рідин або твердих середовищ, отримання вітамінів, ліків та інших препаратів [1]. Крім того, етиловий спирт служить дезінфікуючим засобом і компонентом, що запобігає псуванню медичних екстрактів [39]. Невеликі обсяги продукції використовуються у хімічній, машинобудівній, автомобільній промисловості, а також у ветеринарії та фармакології. Під час виробництва, окрім основних продуктів – етилового спирту та вуглекислого газу – отримують побічні продукти: головну фракцію спирту, сивушне масло, барду та лютерну воду.

Технологія виробництва спирту пройшла тривалий шлях розвитку й сьогодні досягла високого рівня технічної досконалості [28]. Значний внесок у її становлення зробили науковці та інженери різних країн, серед яких видатні й українські фахівці. Зокрема, В.О. Маринченко та П.Л. Шиян розробили нові методи підготовки цукровмісної й крохмалевмісної сировини до процесу зброджування [28, 35]. Велика увага приділялася вивченню та відбору високопродуктивних штамів дріжджів, більш повному використанню рафінози меляси й целюлозних компонентів крохмалевмісної сировини, а також розробці ресурсозберігаючих технологій.

Важливим етапом розвитку галузі є створення технологічного регламенту низькотемпературного розварювання та визначення оптимального ступеня подрібнення зерна з різних видів сировини, разом із правильним підбором ферментних препаратів [21, 31].

Тому ми поставили перед собою за **мету** проаналізувати сучасні

підходи виробництва етилового спирту і запропонувати удосконалену технологію щодо підвищення ефективності, якості продукції та екологічної безпеки виробництва.

Виходячи з даної мети ми окреслили основні **завдання** кваліфікаційної роботи:

1. Провести аналітичний огляд літературних джерел щодо сучасного стану спиртової промисловості в Україні та світі.
2. Розглянути основні технологічні етапи виробництва етилового спирту, їх вплив на якість кінцевого продукту.
3. Проаналізувати існуючі технологічні схеми виробництва спирту, виявити недоліки та резерви підвищення ефективності.
4. Запропонувати удосконалену технологію виробництва спирту з використанням сучасного обладнання, ферментних препаратів і методів енергозбереження.
5. Визначити вимоги до сировини, допоміжних матеріалів і контрольних параметрів процесу.
6. Провести продуктовий розрахунок для розробленої технологічної схеми.
7. Описати апаратурно-технологічне забезпечення.
8. Розробити систему контролю якості, безпечності продукції та екологізації виробництва.
9. Виконати оцінку економічної ефективності запропонованій технології.

Орієнтовний загальний обсяг роботи:

45 сторінок друкованого тексту, включно з таблицями, графічними матеріалами, схемами та списком використаних джерел.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Спиртова галузь: перспективи розвитку

Спиртова галузь є однією з найважливіших і найперспективніших в АПК та промисловості загалом [7, 19]. Від її нормального функціонування залежать понад сто різних виробництв. Передусім це спирт для харчового, медичного та технічного використання та багато підприємств й установ інших сфер діяльності. У сучасних умовах ця галузь є стратегічно важливою для сектору біоекономіки та виробництва біоетанолу, що нині формується

Асортимент продукції, що виробляють спиртові заводи, досить широкий і водночас вузькоспеціалізований. Це, зокрема, етиловий ректифікований і денатурований спирти, сировина для антисептиків, біоетанол, спирт етиловий − сирець. Крім того, спиртові підприємства виробляють додатково фракцію етилового спирту, сивушне масло, діоксид вуглецю. А окремі заводи оснащено цехами з виробництва лікеро-горілчаних виробів [4, 38].

Останніми роками виробництво спирту зменшувалося (рис. 1) [7, 8]. Зниження обсягів виробництва спирту було зумовлено багатьма причинами, зокрема проблемами керування державною власністю в концерні ДП «Укрспирт», а також збільшенням його імпорту [26]. Незважаючи на модернізацію та високу забезпеченість сировиною вітчизняного виробництва за низькими цінами, загалом спиртова галузь виявилася неконкурентоспроможною.

Рис. 1. Стан виробництва спирту

Джерело: за даними досліджень та аналізу відкритої інформації ДССУ

На сьогодні спиртова галузь представлена десятками підприємств, більшість з яких входять до концерну державного підприємства «Укрспирт» (41 підприємство, з яких орієнтовно працює близько 17). Державне підприємство «Укрспирт» реалізує продукцію на внутрішніх і зовнішніх ринках, а також є єдиним повноцінним експортером спирту етилового ректифікованого різних сортів (табл. 1) [19].

Таблиця 1

Стан та особливості роботи підприємств ДП «Укрспирт»

Групування підприємств за добовою виробничою потужністю (дал) та спеціалізацією	Кількість підприємств	Поточна кількість працівників	Рік модернізації
1300–3299 дал	**34**	**2362**	**2005, 2020**
Спирт етиловий ректифікований	**31**	**2102**	**2005, 2020**
виробництво тимчасово призупинено	17	723	2005, 2020
працює	14	1379	2019
Спирт етиловий ректифікований, ЛГВ	**1**	**147**	**2019**
працює	1	147	2019
Спирт технічний	**1**	**84**	**2016**
виробництво тимчасово призупинено	1	84	2016
Технічні рідини в потоці (розчинники)	**1**	**29**	**2019**
виробництво тимчасово призупинено	1	29	2019
3300–5299 дал	**4**	**393**	**2019**
Спирт етиловий ректифікований	**3**	**343**	**2019**
виробництво тимчасово призупинено	1	98	2020
працює	2	245	2019
Спирт технічний	**1**	**50**	**2019**
виробництво тимчасово призупинено	1	50	2019
5300–7299 дал	**2**	**201**	**2018**
Біоетанол	**1**	**98**	**2019**
виробництво тимчасово призупинено	1	98	2019
Спирт етиловий ректифікований	**1**	**103**	**2018**
виробництво тимчасово призупинено	1	103	2018
7300–9299 дал	**1**	**44**	**2015**
Спирт етиловий ректифікований	**1**	**44**	**2015**
виробництво тимчасово призупинено	1	44	2015
Усього	**41**	**3000**	**х**

Джерело: за даними досліджень та аналізу відкритої інформації ФДМУ

Нинішня ситуація в галузі досить складна. Згідно з проведеним аналізом інформації Фонду державного майна, останніми роками відбувається підготовка до приватизації спиртової галузі, яка вже розпочалася. Найближчі перспективи розвитку − повна приватизація та демонополізація спиртової галузі. На приватизацію держава виставляє місця провадження діяльності та зберігання спирту ДП «Укрспирт», а також безпосередньо заводи, що входять до складу концерну «Укрспирт», та інше

майно. Ці місця провадження діяльності та зберігання спирту не є юридичними особами, а фактично є групами окремого майна, що містять будівлі, устаткування, рухоме майно тощо, що може забезпечити повний виробничий цикл [20].

Потенційна виробнича потужність підприємств концерну ДП «Укрспирт» становить близько 36 млн декалітрів на рік. Фактично використовується всього третина цих потужностей. Структура й обсяги можливого виробництва можуть становити: спирт етиловий ректифікований з крохмалевмісної сировини – 27043,45 тис. дал; спирт етиловий ректифікований із цукровмісної сировини – 3272,5 тис. дал; спирт етиловий технічний – 1485 тис. дал; біоетанол – 1650 тис. дал.

Потенційна виробнича потужність підприємств концерну ДП «Укрспирт» становить близько 36 млн декалітрів на рік

З аналізу табл. 1, де наведено групування підприємств ДП «Укрспирт» за добовою виробничою потужністю (дал), видно, що більшість підприємств мають добову потужність виробництва спирту 1300–3299 дал. Наведена інформація є орієнтовною й може змінюватися в нинішніх складних умовах. Однак ця інформація важлива для розуміння сучасного стану галузі та її проблем.

На ДП «Укрспирт» впроваджено та сертифіковано систему менеджменту якості, безпеки та екологічного контролю: ISO 9001, ISO 14001, ISO 22000, Hazard Analysis and Critical Control Points. Продукція вітчизняної спиртової галузі має попит у країнах Центральної Азії, в Грузії, Азербайджані, Туреччині, Австрії, Польщі, В’єтнамі, Угорщині, Словаччині й інших країнах [16, 17].

Водночас головною проблемою спиртової галузі є значний його імпорт. За даними аналізу відкритої інформації митної статистики, протягом останніх десяти місяців 2023 року імпорт за товарною позицією 2208 «Спирт етиловий, неденатурований, менш 80 об.%» становив 73 026 т на суму 258 619 тис. дол. США, тоді як експорт, відповідно – 36 790 т на суму 56 525 тис.

дол. США. Крім того, експорт здійснювався за товарною позицією 2207 «Спирт етиловий, неденатурований, 80 об.% чи більше» обсягом 54 488 т на суму 59364 тис. дол. США (табл. 2) [8].

Таблиця 2

Зовнішня торгівля спиртом

Рік	Код і найменування позиції товару за УКТЗЕД	Імпорт			Експорт		
		вартість, тис. дол. США	питома вага	вага нетто, т	вартість, тис. дол. США	питома вага	вага нетто, т
2022	2207 «Спирт етиловий, неденатурований, 80 об.% чи більше»	2	0,00%	0	51762	0,12%	43204
	2208 «Спирт етиловий, неденатурований, менш 80 об.%»	191213	0,32%	60747	67480	0,15%	41382
10 місяців 2023	2207 «Спирт етиловий, неденатурований, 80 об.% чи більше»	18	0,00%	1	59364	0,20%	54488
	2208 «Спирт етиловий, неденатурований, менш 80 об.%»	258619	0,50%	73026	56525	0,19%	36790

Джерело: за даними досліджень та аналізу відкритої інформації митної статистики ДМСУ

Особливість спиртової галузі полягає в тому, що спирт можна виробляти з дуже багатьох видів сировини. Зокрема з непридатного для харчових і кормових цілей зерна, а також відходів цукрового виробництва – меляси. Це нині дуже важливо в умовах значного виробництва зернових культур, зокрема кукурудзи та проблем із логістикою їх збуту й зберіганням [2, 36]. Будівництво нових заводів із глибокої переробки та використання нинішньої промислової інфраструктури ДП «Укрспирт» може сприяти розв’язанню проблем аграрного сектору, збільшенню доданої вартості та формуванню енергетичної самодостатності АПК та економіки загалом [29, 37].

Інша проблема полягає в певній збитковості виробництва в усьому ланцюгу формування доданої вартості в спиртовій галузі, яка об’єднує не лише виробництво спирту, а й подальше його використання в іншій продукції. Водночас останніми роками спостерігається тенденція зменшення кількості підприємств, які отримали збитки у цій сфері економічної діяльності (рис. 2).

Рис. 2. Питома вага підприємств, які отримали збиток,
у загальній кількості підприємств, %
Джерело: за даними досліджень та аналізу відкритої інформації ДССУ

З 2020 року держава почала реформування спиртової галузі. Зокрема, значно лібералізована діяльність у сфері виробництва й обігу спирту. Нові правила набули чинності з 1 липня 2020 року. Передусім монополію на виробництво спирту було скасовано. Підприємства вже можуть отримати ліцензію на виробництво та експорт спирту. Повне відкриття ринку відбудеться у кілька етапів. З 1 липня 2021 року вже можна виробляти спирт і будувати нові спиртові підприємства. Запущено процес приватизації ДП «Укрспирт» і залучення інвесторів [3, 20].

Таким чином, варто зазначити, що спиртова галузь може стати локомотивом вітчизняної економіки внаслідок вищої диверсифікації виробництва продукції. Передусім це стосується біоетанолу. Розвиток цієї нової біоінноваційної індустрії сприятиме сталому розвитку, створенню робочих місць і зайнятості на сільських територіях, збільшенню доданої вартості в АПК, зниженню імпорту енергоносіїв та покращенню екології навколишнього середовища.

2. МЕТОДОЛОГІЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Методологія написання нашої кваліфікаційної роботи включає визначення наукових підходів, методів, інструментів і принципів, за допомогою яких проводиться аналіз та удосконалення технологічного процесу виробництва спирту.

Об’єкт кваліфікаційної роботи – технологічний процес виробництва етилового спирту із крохмалевмісної сировини.

Предмет кваліфікаційної роботи – методи підвищення ефективності, зниження енерговитрат, покращення якості спирту та зменшення негативного впливу на довкілля.

Для досягнення мети дослідження використано комплекс загальноприйнятих методів:

– аналіз і синтез наукових джерел – для вивчення сучасного стану спиртової промисловості, технологічних схем і наукових розробок;

– порівняльний аналіз – для визначення переваг і недоліків існуючих технологій виробництва спирту;

– експериментальні методи – для оцінки ефективності ферментних препаратів на вихід спирту;

– розрахунково-аналітичні методи – для визначення виходу готової продукції та побічних продуктів;

– екологічний аналіз – для оцінки рівня впливу виробництва на навколишнє середовище;

– методи техніко-економічного аналізу – для обґрунтування економічної ефективності запропонованих удосконалень технології.

Методологічну основу у нашій кваліфікаційній роботі становлять фундаментальні принципи технології спиртового виробництва, положення мікробіології, біохімії, біотехнології, хімічної технології, нормативні документи (ДСТУ, ТУ, санітарні норми), сучасні наукові праці українських і зарубіжних дослідників (Маринченко В.О., Шиян П.Л. та ін.) [9, 13, 18, 38].

Таким чином, методологія нашої кваліфікаційної роботи базується на комплексному науковому підході до аналізу та вдосконалення технології виробництва етилового спирту з крохмалевмісної сировини. У роботі визначено об’єкт – технологічний процес виробництва спирту, та предмет – методи підвищення його ефективності, зниження енерговитрат і покращення якості продукції при мінімізації впливу на довкілля.

Для досягнення поставленої мети використано сукупність методів: аналіз літературних джерел, порівняльний, експериментальний, розрахунково-аналітичний, екологічний і техніко-економічний аналіз.

Методологічну основу становлять принципи технології спиртового виробництва, положення мікробіології, біохімії, біотехнології та хімічної технології, а також нормативні документи й наукові праці провідних фахівців у цій галузі.

3. РОЗРОБЛЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

У цьому розділі ми розглядаються шляхи вдосконалення технологічного процесу виробництва етилового спирту з метою підвищення ефективності та якості готової продукції. Особлива увага приділяється раціональному використанню сировини, зниженню енерговитрат, оптимізації параметрів виробництва та впровадженню сучасного обладнання. На основі проведеного аналізу пропонуються технічні рішення, що сприяють підвищенню продуктивності та екологічної безпеки спиртового виробництва [32, 40].

3.1 Вимоги до сировини і матеріалів

У даному варіанті виробництва етилового спирту базовою сировиною є зерно кукурудзи, яке вирізняється високим вмістом крохмалю (приблизно 70–75%) та сприятливими технологічними характеристиками. Саме від якості кукурудзяного зерна залежить стабільність процесів бродіння, вихід спирту та якість готової продукції [14, 35].

Кукурудза. Серед зернових культур кукурудза є найоптимальнішою для виробництва спирту. Вона містить більше крохмалю, менше клітковини й підвищену кількість жиру, що також збільшує поживну цінність барди. Урожайність цієї культури у 2–3 рази перевищує урожайність інших зернових [30, 33].

Рослина має пряме стебло висотою 0,6–2,6 м, на якому формується один або два качани (інколи більше). Кожен качан несе від 300 до 1000 зерен, забарвлених у жовтий, білий або рідше оранжевий колір. Маса зернівки становить близько 75–85% від маси качана. Останній вкритий кількома шарами обгорткових листків.

За формою зерна й типом ендосперму кукурудзу поділяють на сім ботанічних груп: кременисту, плівчасту, зубоподібну, восковидну, крохмалисту, цукрову та лущату. Для виробництва спирту переважно використовують крохмалисті й зубоподібні сорти, які легше піддаються розварюванню.

Таблиця 3

Характеристика кукурудзи

№ п/п	Показник	Характеристика
1	ДСТУ	ДСТУ 4525:2006 «Кукурудза. Технічні умови» [14]
2	Колір	Жовтий або червоно-жовтий
3	Запах	Властивий здоровому зерну
4	Вологість, %, не більше	15,0
5	Натура, г/дм³, не менше	780
6	Засміченість, %, не більше	5,0
7	Зернова домішка, %, не більше	15,0
8	Зараженість	Кліщ 1 ступеня

Вода. На спиртових підприємствах вода використовується для технологічних, технічних та допоміжних цілей: охолодження продуктів, приготування замісів, замочування зерна, миття обладнання тощо. Її якість безпосередньо впливає на перебіг процесів зброджування і властивості кінцевого продукту [36].

Для технологічних потреб застосовують артезіанську воду, тоді як для технічних – воду з відкритих водойм (річок, ставків). Вода, що входить до складу технологічних розчинів, повинна відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10, тобто стандартам питної води [9].

Жорсткість не повинна перевищувати 7 ммоль/дм³. Вода має бути прозорою, безбарвною, без сторонніх запахів та домішок важких металів (ртуті, барію тощо). Окиснюваність – не більше 2 см³ 0,01 н розчину $KMnO_4$, кількість нерозчинного осаду – до 1000 мг/дм³.

Якщо природна вода не відповідає цим вимогам, її піддають очищенню: фільтрації через кварцовий пісок, коагуляції, знезараженню хлором або пом’якшенню содово-вапняним чи іонним методом [10].

Для більшості процесів потрібне слабокисле середовище (pH 4,5–5,5). При таких значеннях pH відбувається найефективніше розварювання й оцукрювання крохмалю, а також оптимальне спиртове бродіння [18].

Вода з підвищеним вмістом гідрокарбонатів кальцію та магнію є небажаною, адже вона підвищує pH і утворює нерозчинні сполуки, недоступні для дріжджів. Для корекції кислотності застосовують сірчану кислоту або фільтрат барди.

Бактеріологічні показники повинні бути такими:

- колі-титр ≥ 300;
- колі-індекс ≤ 3;
- загальна кількість мікроорганізмів ≤ 70 у 1 см³ води (до 100 під час паводку).

Оцукрюючі матеріали. У переробці крохмалевмісної сировини застосовують ферментні препарати (ензими), які каталізують гідроліз крохмалю, білків, целюлози та пектинових сполук. Їх використання підвищує ефективність перетворення крохмалю на мальтозу й глюкозу, активізує процес бродіння та збільшує вихід спирту [5, 21, 24].

Основні ферменти, що застосовуються:

- α-амілаза, β-амілаза, глюкоамілаза – для гідролізу крохмалю [23];
- протеази – для розщеплення білків до амінокислот [24];
- пектинази – для зниження в’язкості пектинових речовин [38];
- целюлазні ферменти – для гідролізу целюлози до глюкози.

Ферментні препарати мікробного походження характеризуються високою стійкістю до температури (до 105 °C), стерильністю, тривалим терміном зберігання та можливістю інтенсифікації бродіння. Вони дозволяють збільшити вміст сухих речовин у суслі до 20–21%, а спирту у бражці – до 11 об. %, що підвищує ефективність роботи обладнання.

Основні промислові ферментні препарати

- SanSuper 240L – використовується для оцукрювання заторів із розрідженим крохмалем.

- Зовнішній вигляд: прозора коричнева рідина
- Густина: 1,25 г/см³
- Основні активності (од./см³): глюкоамілаза – 3000, α-амілаза – 700, протеаза – 0,062

- Amylex 3T – фермент бактеріальної α-амілази, отриманий з *Bacillus subtilis*. Розщеплює α-1,4-глюкозидні зв'язки крохмалю, зменшуючи в'язкість і сприяючи швидкому розрідженню маси.
- Termamyl 120L – термостабільна α-амілаза, вироблена *Bacillus licheniformis*. Використовується для розрідження замісу, активна при 95–105 °C, оптимум – 50–60 °C.

Допоміжні матеріали. На спиртовому виробництві для отримання етилового спирту застосовуються різні допоміжні речовини, основні вимоги до яких подані у таблиці 4.

Полідез – дезінфікуючий засіб із високою антимікробною активністю, ефективний проти грампозитивних і грамнегативних бактерій, а також проти аеробних, анаеробних і спорових форм мікроорганізмів, включно з цвілевими грибами та дріжджами, стійкими до інших дезінфектантів [39].

Як антисептик також використовують хлорне вапно [10].

Діамонійфосфат та ортофосфорна кислота служать джерелом азоту і фосфору для живлення мікроорганізмів. У ролі додаткового азотного живлення застосовують карбамід (сечовину) – безбарвні або білі кристали без запаху, добре розчинні у воді, спирті та рідкому аміаку, частково – у неполярних розчинниках [15].

Для підтримання оптимального рівня pH середовища використовують сірчану кислоту [12].

Вибір і характеристика дріжджів-продуцентів. Для спиртових підприємств, що переробляють сировину з високим вмістом крохмалю, дріжджі повинні витримувати підвищені концентрації сухих речовин і спирту, повністю зброджувати вуглеводи сусла, забезпечувати максимальний

вихід спирту при мінімальній біомасі та бути стійкими до кислого середовища та сторонньої мікрофлори [6, 25].

Таблиця 4

Характеристика допоміжних матеріалів

Найменування матеріалу	Стандарт / технічні	Класифікація	Сорт	Основні показники якості або характеристика
Сірчана кислота (моногідрат)	ДСТУ 2184-77	Промислова	–	Рідина від безбарвного до світло-коричневого кольору, без домішок азоту, свинцю, миш'яку. Транспортується у цистернах, зберігається в сталевих резервуарах без доступу води.
Діамонійфосфат	ДСТУ 8515-75	Промислова	–	Біла сіль, що містить не менше 50 % P_2O_5 та 22 % NH_3. Розчинність при 50 °С – 89,2 г/100 см³ води. Пакують у бітумовані крафтмішки по 50 кг.
Карбамід (сечовина)	ДСТУ 2081-95	Промислова	–	Кристалічна або гранульована речовина з умістом азоту не менше 46 %. Отримують синтетично з аміаку та вуглекислого газу. Добре розчинний у воді, не гігроскопічний.
Хлорне вапно	ДСТУ 1692-85	Технічна	–	Білий порошок із дезінфікуючими властивостями. Має токсичну дію при перевищенні ГДК (1,0 мг/м³ у робочій зоні). Зберігається у герметичній тарі.
Полідез	ТУ У 24.2–31826657.001–2002	Промислова	–	Порошок із вмістом води ≤ 0,3 %, розчинний у воді, не взаємодіє з металами й бетоном. Містить 15,1–16,6 % активного хлору, стабільний під час зберігання.
Ортофосфорна кислота	ТУ 10678-76Е, 6552-80	Промислова	–	Безбарвна або злегка жовта в'язка рідина з відносною густиною 1,530. Вміст ортофосфорної кислоти – до 70 % (≈ 50,7 % P_2O_5), домішок миш'яку ≤ 0,0003 %.

Saccharomyces cerevisiae К-81 мають овальні або яйцеподібні клітини (4,5–5,5 × 6,2–7,5 мкм), зброджують до 40 % арабінози. Використання цих термотолерантних дріжджів знижує витрати води на охолодження бражки на 30 %, а також підвищує вихід спирту за рахунок більш повного зброджування.

Saccharomyces cerevisiae ДТ-05 отримані шляхом багатократного відбору з виробничих культур українських заводів, мають високу термо- і осмотолерантність, а також здатність зброджувати складні декстрини.

Saccharomyces cerevisiae ДО-11 характеризуються осмофільністю, працюють із суслом, що містить 22–31 % сухих речовин, при 32–35 °С, накопичуючи до 16 % об. спирту. Цей штам зменшує витрати енергії та води на охолодження.

Морфологічно клітини овальні, розмножуються брунькуванням, розмір – (4,4–5,8) × (5,1–6,1) мкм. При інтенсивному рості можуть утворювати скупчення з 3–4 клітин. На ацетатному середовищі при 25 °С протягом доби формують спори.

Фізіолого-біохімічні властивості: факультативні анаероби, оптимум росту – 34–38 °С. Зброджують глюкозу, галактозу, сахарозу, мальтозу, інулін, ксилозу, арабінозу, частково рафінозу та декстрини. Використовують етиловий спирт і гліцерин як джерело вуглецю, але не засвоюють маніт, сорбіт і дульцин.

У нашій кваліфікаційній роботі рекомендовано застосовувати штам Saccharomyces cerevisiae ДО-11, який витримує температуру 36–37 °С і забезпечує на 70–90 % більший приріст дріжджових клітин порівняно з іншими расами.

3.2. Продуктовий розрахунок

Вихідні дані для продуктового розрахунку наведено у таблиці 5.

Таблиця 5 містить основні техніко-технологічні показники виробництва спирту з кукурудзи. Потужність заводу становить 1500 дал/добу, розрахунки наведено на 100 дал умовного спирту-сирцю.

Основна сировина – кукурудза з крохмалистістю 62 % і вологістю 12,6 %. Зерно має ступінь подрібнення 100 % через сито 1 мм. Для розведення використовується 50 % фільтрату барди у воді.

Таблиця 5

Показники для розрахунку

Показник	Значення
Продуктивність заводу, G	1500 дал/добу
Розрахунок на	100 дал умовного спирту-сирцю
Сировина	Кукурудза
Крохмалистість (Kp)	62 %
Вологість (W)	12,6 %
Ступінь подрібнення	100 %, сито 1 мм
Частка фільтрату барди у воді	50 %
α-амілазна активність (AA)	0,30 дм³/т крохмалю
Глюкоамілазна активність (GlA)	0,70 дм³/т крохмалю
Додаткова активність	0,77 дм³/т крохмалю
Розріджуючий фермент	Termamyl 120L
Оцукрюючий фермент	SAN SUPER 240L
Вихід спирту з 1 т умовного крохмалю (B)	62 дал/т

У таблиці 6 наведено приклад розрахунку кількості крохмалю та зерна, необхідних для виробництва 100 дал умовного спирту-сирцю. Розрахунок базується на технологічних показниках процесу переробки кукурудзи та враховує вміст крохмалю, вологість і вихід спирту з 1 тонни умовного крохмалю.

Згідно з розрахунками для отримання 100 дал спирту потрібно 1,6129 т крохмалю**,** при цьому частка крохмалю в мокрому зерні становить 54,19 %**.**

Відповідно, необхідна маса кукурудзи – 2,98 т**,** або 2,60 т сухої речовини**.**

Таблиця 6

Розрахунок потреби крохмалю та зерна (на V = 100 дал)

Показник	Формула/пояснення	Розрахунок	Значення
Необхідний крохмаль, т	m_k = V / B	100 / 62	1,6129 т
Крохмалева частка в мокрому зерні	f = Kp*(1 − W)	0,62*0,874	0,5419 (54,19 %)
Маса кукурудзи (мокра), кг	M = m_k / f	1612,903 / 0,5419	2976,5 кг
Суха маса зерна, кг	M_s = M*(1 − W)	2976,5*0,874	2601,5 кг

Таким чином, таблиця демонструє послідовність технологічного розрахунку потреби сировини, що дозволяє планувати витрати матеріалів і оптимізувати виробничий процес.

У таблиці 7 наведено розрахунок кількості ферментних препаратів, необхідних для виробництва 100 дал умовного спирту-сирцю із кукурудзи. Основою розрахунку є потреба в 1,6129 т крохмалю, визначена попередньо.

Таблиця 7

Витрати ферментів (на V = 100 дал)

Препарат / активність	Норма (дм³/т крохмалю)	Розрахунок (дм³)	Об’єм, л
α-амілаза (Termamyl)	0,30	0,30*1,6129	0,484
Глюкоамілаза (SAN SUPER)	0,70	0,70*1,6129	1,129
Додаткова активність	0,77	0,77*1,6129	1,242

Ферментні препарати застосовуються для розрідження і оцукрювання крохмальної сировини, що забезпечує ефективне перетворення крохмалю в цукри, а згодом – у спирт.

Termamyl 120L – використовується для розрідження крохмального сусла, прицьому норма витрати становить 0,30 дм³/т крохмалю**,** що відповідає 0,484 л для 100 дал спирту.

Також для оцукрювання сусла застосовується глюкоамілаза (SAN SUPER 240L) норма 0,70 дм³/т, фактична витрата 1,129 л.

Отже, важливим етапом при технологічному плануванні процесу є визначення загальної потреби у ферментах для заданого обсягу виробництва спирту.

Таблиця 8

Витрати води та фільтрату (при r = 3,2 л/кг зерна)

Показник	Формула / пояснення	Розрахунок	Значення
Загальна вода, л	V_w = r*M	3,2*2976,5	9524,8 л (9,525 м³)
Свіжа вода (50 %)	0,5*V_w	0,5*9524,8	4762,4 л (4,762 м³)
Фільтрат барди (50 %)	0,5*V_w	4762,4 л	4762,4 л (4,762 м³)

Для виробництва 100 дал спирту необхідно розрахувати кількість води та фільтрату барди, необхідних для підготовки сировини. Розрахунок виконано з урахуванням питомої витрати води 3,2 л на 1 кг зерна (Табл 9.).

Таблиця 9

Підсумок (на V = 100 дал)

Показник	Значення
Крохмаль (т)	1,613 т
Кукурудза (мокра)	2976,5 кг
Суха маса	2601,5 кг
Загальна вода	9524,8 л
Свіжа вода	4762,4 л
Фільтрат барди	4762,4 л
Termamyl 120L	0,48 л
SAN SUPER 240L	1,13 л
Додатковий препарат	1,24 л

При цьому, загальний об’єм рідкої фази склав 9524,8 л з яких одна половина 4,762 м³ це свіжа вода і друга половина 4,762 м³ фільтрат барди, який частково замінює воду та знижує загальні витрати.

Добова потреба заводу зі спиртового виробництва потужністю 1500 дал спирту-сирцю на добу наведена у таблиці 10. Показники цієї таблиці узагальнюють основні розрахункові показники для визначення кількості сировини, води та ферментів, необхідних у виробничому процесі.

Таблиця 10

Проекція на завод (G = 1500 дал/добу)

Показник	Формула	Розрахунок	Значення
Потрібний крохмаль, т/добу	G / B	1500 / 62	24,1935 т/добу
Кукурудза (мокра), т/добу	M = m_k / f	24,1935 / 0,5419	44,65 т/добу
Суха маса, т/добу	M_s = M*(1 − W)	44,65*0,874	39,93 т/добу
Загальна вода, м³/добу	3,2*M (л) /1000	3,2*44650 /1000	142,5 м³/добу
Свіжа вода (50 %)	0,5*142,5	71,25 м³/добу	71,25 м³/добу
Ферменти (AA), л/добу	0,30*24,1935	7,26 л/добу	7,26 л/добу
Ферменти (GlA), л/добу	0,70*24,1935	16,94 л/добу	16,94 л/добу
Додаткова активність, л/добу	0,77*24,1935	18,63 л/добу	18,63 л/добу

Таким чином, для добового випуску 1500 дал спирту потрібно 24,19 т крохмалю, що відповідає 44,65 т кукурудзи (мокрої) або 39,93 т сухої маси.

Загальна потреба у воді становить 142,5 м³/добу, з яких половина 71,25 м³ свіжа вода, інша половина фільтрат барди, що забезпечує раціональне водокористування.

Витрати ферментів на добу складають α-амілаза (Termamyl 120L) – 7,26 л, глюкоамілаза (SAN SUPER 240L) – 16,94 л.

Отже, проведений продуктовий розрахунок дозволив визначити потребу в основній сировині, воді та ферментах, а також оцінити ресурсну

ефективність технологічного процесу виробництва спирту з кукурудзи. Отримані дані можуть бути використані для планування виробничих потужностей, контролю витрат і оптимізації технологічних режимів.

3.3. Апаратурно-технологічне забезпечення

На рисунку 3 подано апаратурно-технологічну схему виробництва етилового спирту. Згідно з даною схемою, зернова сировина доставляється на підприємство автотранспортом, проходить зважування та контроль якості, після чого розподіляється на дві частини: одна направляється на зберігання у зерносховище, інша – у проміжний бункер (1), з якого подається на подальшу технологічну обробку.

З бункера зерно за допомогою норії (2) транспортується у збірник (4), а потім – у повітряно-ситовий сепаратор (5), де здійснюється попереднє очищення від легких та дрібних домішок (пилу, лушпиння, солом'яних частинок). Далі очищена сировина надходить у магнітний сепаратор (6), який видаляє металеві включення, запобігаючи пошкодженню наступного обладнання та потраплянню металу у готову продукцію.

Після етапу очищення зерно потрапляє у дезінтегратор (8), де воно подрібнюється до стану крупки або борошна. Отримана подрібнена маса надходить у збірник замісу (11), у який додаються компоненти, необхідні для приготування сусла:

- Ферментний препарат Termamyl 120L, Type L (30 % від маси) зі збірника (7);
- Ферментний препарат Tegazyme RT75L зі збірника (10);
- Фільтрат барди (50 % об'єму) зі збірника (9).

Отриманий заміс попередньо нагрівається до 45–50 °C для підвищення розчинності та забезпечення рівномірності суміші. Після цього він подається через переливний патрубок у вловлювач (13), де усуваються залишки згустків та сторонніх частинок.

Далі маса потрапляє у ротаційно-пульсаційний апарат (РПА) (12), де відбувається механоактивація – інтенсивне диспергування і гомогенізація, що сприяє активізації ферментативних процесів. Оброблена суміш плунжерним насосом (14) надходить у контактну головку (15), у якій під дією гострої пари нагрівається до температури 85–90 °С.

Подальша обробка здійснюється у першому апараті АТФО-1 (16), куди додається решта ферментного препарату Termamyl 120L для розрідження крохмальної суспензії. Процес супроводжується інтенсивним перемішуванням з метою уникнення нерівномірного прогріву. Потім сусло надходить у другий апарат АТФО-2 (17), де воно витримується протягом 120–130 хв при безперервному перемішуванні вертикальною мішалкою. Послідовне заповнення обох апаратів забезпечує безперервність технологічного процесу та запобігає утворенню застійних зон, що позитивно впливає на якість кінцевого продукту.

Після завершення процесу розрідження:

- Близько 10 % сусла надходить у дріжджегенератор (25) для отримання активної дріжджової культури (ЧКД). У цей апарат також додаються розчин карбаміду, діамоній фосфат і ферментний препарат San Super 240L із відповідних збірників.
- Решта сусла направляється у спіральний теплообмінник (24) для охолодження, після чого подається у бродильний апарат (30).

У процесі зброджування за участю термотолерантних дріжджів відбувається перетворення цукрів на етиловий спирт із утворенням зрілої бражки. Отримана бражка насосом знову проходить через теплообмінник, де охолоджується, а потім надходить у бражну колону для ректифікації і виділення спирту-сирцю.

Допоміжні системи технологічної лінії:

- АСУ ТП (автоматизована система управління технологічним процесом) – здійснює контроль параметрів: температури, тиску, рівнів у збірниках, подачі пари та ферментів.

- Система подачі пари і конденсатовідведення – забезпечує стабільний тепловий режим у технологічних апаратах.
- Насосне господарство – включає плунжерні й шестеренні насоси різного тиску для транспортування сусла та бражки.
- CIP-мийка (clean-in-place) – система автоматичного миття апаратури без необхідності розбирання, що гарантує санітарну чистоту виробництва.

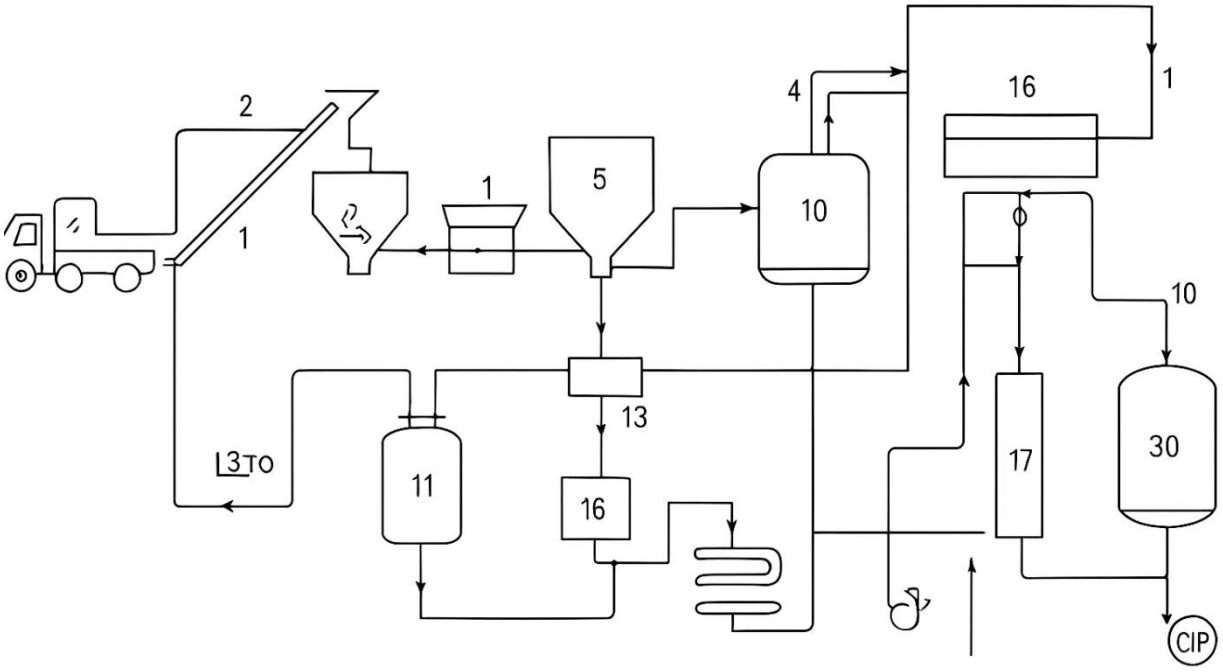

Рис. 3. Апаратурно-технологічна схема виробництва спирту

1 – Проміжний бункер для приймання зерна 2 – Норія для подачі зерна 3 – Збірник зерна 4 – Збірник очищеного зерна 5 – Повітряно-ситовий сепаратор 6 – Магнітний сепаратор 7 – Збірник ферментного препарату Termamyl 120L, Type L 8 – Дезінтегратор (подрібнювач зерна) 9 – Збірник фільтрату барди 10 – Збірник ферментного препарату Tegazyme RT75L 11 – Збірник замісу 12 – Ротаційно-пульсаційний апарат (РПА) 13 – Вловлювач згустків 14 – Плунжерний насос 15 – Контактна головка (підігрів гострою парою) 16 – Апарат АТФО-1 (первинне розрідження) 17 – Апарат АТФО-2 (остаточне розрідження та витримування сусла) 18 – Спіральний теплообмінник 19 – Дріжджегенератор 20 – Бродильний апарат 21 – Спіральний охолоджувач бражки 22 – Бражна колона 23 – Система подачі пари 24 – Система CIP-мийки 25 – Лабораторна подача ЧКД 26 – Збірник розчину карбаміду 27 – Збірник розчину діамонійфосфату 28 – Збірник ферментного препарату San Super 240L 29 – Насосна станція 30 – Збірник зрілої бражки

Таким чином, апаратурно-технологічне забезпечення підприємства гарантує безперервність, ефективність і стабільність процесів обробки

зернової сировини, з високим ступенем механізації та автоматизації всіх етапів виробництва.

3.4. Опис технології

Типові схеми установок, які застосовуються під час термоферментативної обробки, поділяють на ємкісну (Мічуринська), трубчасту (Мироцька) та комбіновану (Немирівська). Починаючи з 2000 року, більшість спиртових підприємств України перейшли на технологію низькотемпературної термоферментативної обробки зернових замісів. Саме тому у даній роботі розглядаються технологічні прийоми, що відповідають вимогам цієї сучасної методики.

Механічні характеристики зерна значною мірою визначаються рівнем його вологості: сухе зерно є крихким, тоді як вологе – більш еластичне. Це пояснюється зміною колоїдних властивостей крохмалю та білкових сполук. Із підвищенням вологості збільшується й питома енергія, необхідна для руйнування зерна. Такі особливості механохімічної деструкції враховують при виборі обладнання для подрібнення сировини у спиртовому виробництві.

У процесі механохімічного руйнування високомолекулярні сполуки змінюють свої властивості: зменшується молекулярна маса, підвищується розчинність, а також активізуються хімічні реакції. Це сприяє зростанню біохімічної активності речовин. Подрібнення супроводжується зміною форми та розміру частинок, у результаті чого поверхня матеріалу збільшується у сотні разів, що значно пришвидшує технологічні процеси. Таким чином, чим більша питома поверхня зернової сировини, тим ефективніше відбуваються подальші стадії її переробки.

Очищення зерна. Перед використанням у виробництві зерно обов’язково очищують від пилу, землі, каміння, металевих часток (цвяхів, дроту, гайок тощо). Наявність домішок може призвести до пошкодження обладнання й порушення технологічних процесів.

Повітряно-ситове очищення. Зернова маса проходить через повітряно-ситові сепаратори, де легкі домішки видаляються потоком повітря, створеним вентилятором, а великі й дрібні частки відділяються за допомогою сит. Оптимальна швидкість повітря у каналах не перевищує 7 м/с, що запобігає втратам зерна. У результаті очищене зерно повинно містити не більше 1 % сторонніх домішок.

Магнітне сепарування. Після первинного очищення із зерна видаляють залишки металевих частинок за допомогою магнітних або електромагнітних сепараторів. Пристрої з постійним магнітним полем розташовують під кутом приблизно 40°. Металеві домішки притягуються до полюсів магніту та періодично видаляються. Електромагнітні сепаратори є більш ефективними – вони забезпечують продуктивність від 4 до 9 т/год при споживанні 0,6–0,9 кВт·год енергії.

Таким чином, очищення зерна складається з двох основних етапів: повітряно-ситового та магнітного сепарування, що дозволяє отримати сировину високої якості для подальшої переробки.

Подрібнення. Для забезпечення ефективного низькотемпературного розварювання зерна необхідно досягти такого ступеня подрібнення, щоб 100 % помелу проходило через сито з отворами діаметром 1 мм.

Подрібнення здійснюється на дробарках або спеціалізованих машинах із подальшою тепловою обробкою. Використання високодисперсних помелів (ВД) дозволяє зменшити втрати крохмалю, підвищити коефіцієнт переробки та знизити енерговитрати.

Перспективними для спиртової галузі є технології, що базуються на застосуванні дезінтеграторів, вібраційних та електромагнітних подрібнювачів. Такі установки забезпечують інтенсивну механохімічну активізацію (МХА) сировини – процес, при якому під впливом механічної енергії збільшується реакційна здатність речовин.

Основні типи обладнання для подрібнення – молоткові дробарки (ДМ, ДДМ, А1-ДДМ) та валкові станки типу ЗМ. Дезінтегратори та

дисмембратори дозволяють отримати високодисперсний помел і водночас підвищити активність матеріалу.

При приготуванні замісів з високим вмістом сухих речовин (гідромодуль 1:2,5–1:3,0) можливе утворення грудок, що погіршує процес гідротермічної обробки та ускладнює доступ ферментів до крохмалю. Це знижує ефективність бродіння та підвищує кислотність бражки.

У даній кваліфікаційній роботі пропонується використовувати **дезінтегратор**, який має низку переваг:

- високу продуктивність;
- можливість одночасного подрібнення та змішування рідких і твердих компонентів.

Приготування замісу. Для ефективного отримання етилового спирту з максимально можливим виходом із одиниці умовного крохмалю важливо підтримувати температуру, pH та концентрацію сухих речовин (СР) у межах оптимальних показників. Ці параметри мають вирішальне значення для подальших етапів технологічного процесу. Особливу роль це відіграє під час використання енергозберігаючої технології низькотемпературного розварювання замісів із додаванням концентрованих ферментних препаратів.

Дослідження, проведені спеціалістами УкрНДІспиртбіопрод, довели доцільність заміни до 30 % води грубим фільтратом барди при приготуванні замісу. Це сприяє підвищенню ефективності переробки зерна на спирт. Перевищення зазначеної кількості, навпаки, може призвести до зменшення виходу спирту з крохмалю.

Передбачене часткове використання фільтрату барди має такі переваги:

- покращується текучість замісу при високій концентрації сухих речовин;
- активізується життєдіяльність дріжджів, особливо за нестачі азотного живлення;
- знижуються технологічні втрати завдяки поверненню частини незброджених вуглеводів;

- зменшуються витрати технологічної води, обсяг барди та енерговитрати на її утилізацію.

Разом із фільтратом барди до змішувача додається ферментний препарат Termamyl 120L, який забезпечує розрідження суміші.

Отже, рівномірний помел зерна, понижений гідромодуль та застосування фільтрату барди в комбінації з ферментами формують основу енергозберігаючої технології переробки зерна у спирт.

Термоферментативна обробка. Розвиток мікробіологічної промисловості дав змогу створити високоефективні концентровані ферментні препарати, серед яких – термостабільна α-амілаза бактеріального походження. Це дозволило впровадити низькотемпературну технологію термоферментативної обробки зернової сировини.

Перевагою концентрованих ферментів є можливість їх поетапного внесення у різні фази процесу – під час приготування замісу, термоферментативної обробки, оцукрення та бродіння – що забезпечує максимальну ефективність їх дії.

Основне завдання розварювання полягає у руйнуванні клітинних структур зерна для вивільнення крохмалю й переведення його у розчинну форму. Одночасно відбувається часткова стерилізація замісу, що сприяє стабільності наступних процесів.

Температура термоферментативної обробки становить 70–90 °С, що дозволяє суттєво знизити енерговитрати. Наприклад, зменшення температури з 150 °С до 95 °С дає економію близько 8,1 Гкал теплової енергії на 1000 дал спирту, а вихід спирту зростає на 0,5–0,7 дал на тонну умовного крохмалю. Подальше зниження температури до 65–67 °С є потенційним резервом енергозбереження.

Охолодження та оцукрення. Оцукрення сусла може виконуватися традиційним методом в оцукрювачі або безпосередньо у бродильному апараті.

Практичні та лабораторні дослідження показали, що суміщення водно-теплової та термоферментативної обробки створює оптимальні умови для роботи термостабільної α-амілази. У результаті формується сусло, зручне для подальшого оцукрення, що містить декстрини з низьким ступенем полімеризації. Це дозволяє частково відмовитися від окремої стадії оцукрення і поєднати її зі стадією бродіння.

Використання концентрованих ферментів безпосередньо у бродильному апараті знижує енерговитрати, спрощує технологічну схему та зменшує втрати активності ферментів.

Під час оцукрення ферменти солоду або мікробного походження перетворюють 75–80 % крохмалю у мальтозу та глюкозу, а решта 20–25 % декстринів зброджуються на наступному етапі. Оцукрення може проводитися як у безперервному режимі з вакуум-охолодженням, так і безпосередньо в апараті для бродіння.

У межах даної роботи оцукрення здійснюється саме у бродильному апараті – цей спосіб потребує менше енергії, часу та обладнання.

Підготовка сусла до розмноження дріжджів. Частину розрідженої маси спрямовують у дріжджанки. Для оцукрення використовуються ферментні препарати мікробного походження. До сусла додаються ферменти (витрата глюкоамілази для жита – 0,6 одиниць на 1 т крохмалю), а також джерела фосфорного живлення (ортофосфорна кислота, діамоній фосфат) і азотного живлення (карбамід).

Дріжджі потребують азоту для синтезу білків під час розмноження, тому правильне живлення має важливе значення для їх активності та стабільності процесу бродіння.

4. Контроль якості та безпечності продукту, екологізація виробництва

Система контролю якості та безпечності продукції на підприємстві є одним із ключових елементів забезпечення стабільності технологічного

процесу та відповідності готової продукції встановленим стандартам [1, 4]. Контроль охоплює всі етапи виробництва – від надходження сировини до випуску готового продукту, включно з оцінкою проміжних і побічних продуктів [2].

Контрольні заходи здійснюються працівниками виробничо-технічної лабораторії, до складу якої входять лабораторія сировини та центральна лабораторія.

Лабораторія сировини відповідає за перевірку якості матеріалів, що транспортуються на завод, зокрема за оцінку їхніх органолептичних, фізико-хімічних і мікробіологічних показників.

Центральна лабораторія забезпечує контроль технологічного процесу, перевіряє проміжні продукти основного виробництва та здійснює комплексну оцінку якості етилового спирту й готової продукції.

Контрольні операції проводяться відповідно до вимог Державних стандартів України (ДСТУ) та технічних умов (ТУ) для кожного виду продукції [13, 39]. Вся інформація щодо результатів перевірок систематично фіксується у журналах лабораторного контролю. Крім того, завідувач лабораторії щомісяця складає звіт про використання сировини, вихід етилового спирту та утворення побічних продуктів.

На спиртових заводах функціонує система управління якістю, побудована на основі міжнародних стандартів ISO 9001:2001, а також система управління безпечністю харчових продуктів, що відповідає вимогам ДСТУ 4161:2003 [16, 17]. Наявність сертифікації цих систем свідчить про впровадження ефективних механізмів контролю, які гарантують стабільну якість, безпечність і відповідність продукції вимогам нормативно-технічної документації.

Діяльність виробничо-технічної лабораторії регламентується «Положенням про виробничо-технічну лабораторію», розробленим відповідно до вимог «Правил акредитації на право проведення метрологічних робіт (ММУ-18-2000)», затверджених наказом Держстандарту України №687

від 4 грудня 2000 року. Це положення визначає повноваження лабораторії, її структуру, завдання та відповідальність персоналу за достовірність результатів аналізів.

Застосування комплексного підходу до контролю якості дозволяє підприємству забезпечити відповідність продукції сучасним вимогам споживачів і підвищити її конкурентоспроможність на внутрішньому та зовнішньому ринках [7, 19].

Екологізація виробництва. Екологізація виробництва є невід'ємною складовою стратегії сталого розвитку підприємства. Основна мета екологічної політики полягає у зменшенні негативного впливу виробничих процесів на навколишнє середовище, раціональному використанні природних ресурсів і впровадженні енергоефективних технологій [40, 41].

На сучасних спиртових заводах реалізуються заходи, спрямовані на вдосконалення екологічної безпеки виробництва. Зокрема, здійснюється повторне використання побічних продуктів, таких як барда, фузельні олії та вуглекислий газ, які після відповідної обробки застосовуються у сільському господарстві або як сировина для вторинного виробництва [33, 35].

Технологічні та організаційні заходи з охорони довкілля. На підприємствах запроваджуються сучасні системи очищення стічних вод та газових викидів, що дозволяє суттєво знизити рівень забруднення повітря та водних ресурсів. Використання енергоощадного обладнання та автоматизованих систем управління технологічними процесами сприяє зменшенню витрат енергії та ресурсів [34].

Важливим напрямом екологізації є впровадження системи екологічного менеджменту відповідно до стандарту ISO 14001 [16], що забезпечує постійне вдосконалення природоохоронної діяльності підприємства. Особлива увага приділяється навчанню персоналу основам екологічної культури, підвищенню рівня відповідальності за дотримання природоохоронних вимог і раціональне використання сировини [38].

Завдяки реалізації зазначених заходів підприємства не лише мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище, а й підвищують ефективність виробництва, зміцнюють імідж соціально відповідального виробника та сприяють гармонійному поєднанню економічних і екологічних інтересів.

Отже, ефективна система контролю якості у поєднанні з екологізацією виробничих процесів є запорукою стабільного розвитку підприємства, забезпечення високих стандартів безпечності продукції та збереження навколишнього середовища [7].

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Розрахунки економічної ефективності виконано на основі технологічних показників виробництва спирту з кукурудзи, наведених у таблицях 5–10. Потужність виробництва становить 1500 дал спирту-сирцю на добу, розрахунки здійснювались для базового обсягу 100 дал умовного спирту-сирцю.

Основна сировина – кукурудза з показниками:

- крохмалистість – 62 %;
- вологість – 12,6 %;
- ступінь подрібнення – 100 % через сито 1 мм;
- співвідношення фільтрату барди до свіжої води – 1:1.

Для перетворення крохмалю в цукри та спирт застосовуються ферментні препарати Termamyl 120L, SAN SUPER 240L та допоміжні ферменти.

На основі проведених технологічних розрахунків визначено такі витрати:

Таблиця 11

Витрати на виробництво 100 дал спирту

Показник	Одиниця виміру	Значення
Крохмаль	т	1,613
Кукурудза (мокра)	кг	2976,5
Суха маса	кг	2601,5
Вода загальна	л	9524,8
Свіжа вода	л	4762,4
Фільтрат барди	л	4762,4
Termamyl 120L	л	0,48
SAN SUPER 240L	л	1,13
Додатковий препарат	л	1,24

Для добового випуску 1500 дал спирту потреба становить:

- 44,65 т кукурудзи, або 39,93 т сухої речовини;
- 142,5 м³ води, з яких половина – фільтрат барди;
- ферменти:
  - α-амілаза – 7,26 л/добу,
  - глюкоамілаза – 16,94 л/добу,
  - додаткові ферменти – 18,63 л/добу.

Для визначення економічної ефективності розглянемо основні складові витрат і доходів підприємства.

Витрати на сировину.

При середній вартості кукурудзи 7000 грн/т, витрати на 44,65 т зерна складуть:

$$44{,}65 \times 7000 = 312550 \text{ грн/добу}$$

Витрати на ферменти.

Середня вартість ферментів:

- Termamyl 120L – 250 грн/л;
- SAN SUPER 240L – 300 грн/л;
- допоміжні – 280 грн/л.

Загальні витрати:

$$(7{,}26 \times 250) + (16{,}94 \times 300) + (18{,}63 \times 280) = 1815 + 5082 + 5216 = 12113 \text{ грн/добу}$$

Витрати на воду та енергію.

Враховуючи використання фільтрату барди, свіжої води потрібно лише 71,25 м³.

За тарифу 25 грн/м³:

$$71{,}25 \times 25 = 1781 \text{ грн/добу}$$

Енергозатрати на термоферментативну обробку оцінюються у 0,6 Гкал на 100 дал спирту, що відповідає 9 Гкал/добу. При тарифі 2400 грн/Гкал:

$$9 \times 2400 = 21600 \text{ грн/добу}$$

Сукупні виробничі витрати:

$$312550 + 12113 + 1781 + 21600 = 347044 \text{ грн/добу}$$

Вартість готової продукції.

При ринковій ціні спирту-сирцю 250 грн/дал:

$$1500 \times 250 = 375000 \text{ грн/добу}$$

Добовий прибуток:

$$375000 - 347044 = 27956 \text{ грн/добу}$$

Рівень рентабельності:

$$R = ПВ \times 100 = 27956347044 \times 100 = 8\ \%$$

Використання фільтрату барди замість частини свіжої води дозволяє скоротити споживання води на 50 %, що знижує витрати на водопостачання приблизно на 1700 грн/добу, або 620 тис. грн на рік.

Крім того, низькотемпературна термоферментативна технологія забезпечує зменшення енерговитрат на 20–25 %, що дає додаткову економію до 2 Гкал/добу, або понад 1,5 млн грн/рік.

Сумарний економічний ефект від впровадження вдосконаленої технології становить:

- прямі заощадження ресурсів – близько 2,1 млн грн/рік;
- підвищення виходу спирту на 0,5–0,7 дал/т крохмалю, що додає близько 1,5 % приросту обсягу виробництва.

Загальний економічний ефект від впровадження енергозберігаючої технології може сягати 2–2,5 млн грн на рік для підприємства потужністю 1500 дал/добу.

Таким чином, аналіз показує, що впровадження низькотемпературної термоферментативної технології з використанням фільтрату барди підвищує економічну, енергетичну та екологічну ефективність виробництва спирту. Рентабельність виробництва становить близько 8 %, що свідчить про стійку ефективність процесу при збереженні поточних цін.

ВИСНОВКИ

1. Для виробництва етилового спирту доцільно використовувати кукурудзу з високим вмістом крохмалю, а за умови застосування якісної води, сучасних ферментних препаратів і допоміжних речовин забезпечується ефективний гідроліз, стабільність процесу та екологічна безпечність продукції.

2. Продуктовий розрахунок визначив основні витрати сировини та матеріалів: для 100 дал спирту необхідно близько 3 т кукурудзи. Оптимізація дозування ферментів і співвідношення води та фільтрату барди знижує витрати ресурсів.

3. Наведена схема виробництва забезпечує безперервність, стабільність і продуктивність процесів. Комплекс сучасного обладнання та автоматизоване управління гарантують точність, економію енергії й належні санітарні умови. Таке технічне оснащення відповідає сучасним вимогам ефективного та екологічного виробництва.

4. Удосконалена технологія ґрунтується на енергозбереженні та раціональному використанні ресурсів. Низькотемпературна обробка з ферментами зменшує енерговитрати, а використання фільтрату барди скорочує споживання води. Механохімічна активація покращує оцукрення та зброджування. Технологія поєднує інновації й біотехнологічні рішення для підвищення ефективності та екологічності виробництва.

5. Впровадження низькотемпературної термоферментативної технології з використанням фільтрату барди підвищує економічну, енергетичну та екологічну ефективність виробництва спирту. Рентабельність виробництва становить близько 8 %, що свідчить про стійку ефективність процесу при збереженні поточних цін.

ПРОПОЗИЦІЇ

З метою підвищення ефективності та екологічності виробництва етилового спирту пропонуємо:

1. Підвищити енергоефективність технологічного процесу шляхом впровадження систем рекуперації тепла, використання біогазу, отриманого з барди, як альтернативного палива, а також оптимізації теплового режиму ферментації із застосуванням термофільних дріжджів;

2. Здійснити екологічну модернізацію виробництва шляхом часткового повторного використання барди у технологічному циклі, комплексної утилізації побічних продуктів і впровадження біологічних систем очищення стічних вод, що дозволить істотно зменшити негативний вплив виробництва на довкілля та підвищити рівень екологічної безпеки підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Артеменко В. В., Костенко І. В. Контроль якості харчових продуктів і біотехнологічних виробництв. Київ: КНУТД, 2019. 268 с.

2. Білоус С. М., Труш О. М. Сировина і допоміжні матеріали спиртового виробництва : навч. посіб. – Київ : НУХТ, 2018. – 164 с.

3. Верховна Рада України. Закон України «Про державне регулювання виробництва і обігу спирту етилового, коньячного і плодового…» № 481/95-ВР від 19.12.1995 (зі змінами станом після 2020 року). Офіційний вебсайт Верховної Ради України.

4. Головач А. І., Черевко О. І., Кравець В. Г. Технологія спиртового виробництва. – Київ : Центр навчальної літератури, 2015. – 420 с.

5. Гордієнко В. І., Чернявський М. О. Ефективність використання ферментних препаратів у спиртовому виробництві // Харчова наука і технологія. – 2023. – № 2. – С. 59–65.

6. Гуліч М. П. Біотехнологія дріжджів та дріжджеподібних мікроорганізмів: навчальний посібник. Київ: Кондор, 2022. 312 с.

7. Гуменюк М. Ф., Гуменюк, М. О. Сучасний стан та перспективи розвитку спиртової промисловості в Україні. Економіка АПК, 2021, № 7, с. 82–91.

8. Державна служба статистики України. Експорт та імпорт спирту етилового за кодами УКТ ЗЕД 2207 і 2208 (статистичні дані 2015–2023 рр.). Офіційний сайт ДССУ.

9. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – Київ : МОЗ України, 2010. – 46 с.

10. ДСТУ 1692-85. Хлорне вапно. Технічні умови. – Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – 11 с.

11. ДСТУ 2081-95. Карбамід (сечовина). Технічні умови. – Київ : Держспоживстандарт України, 1996. – 14 с.

12. ДСТУ 2184-77. Кислота сірчана технічна. Технічні умови. – Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – 12 с.

13. ДСТУ 4221:2003. Спирт етиловий ректифікований. Технічні умови. Чинний з підтвердженням у 2019 р.

14. ДСТУ 4525:2006. Кукурудза. Технічні умови. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 16 с.

15. ДСТУ 8515-75. Діамонійфосфат. Технічні умови. – Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – 10 с.

16. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

17. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

18. Ільчук О. М. Технологія бродильних виробництв : підручник. – Київ : НУХТ, 2020. – 432 с.

19. Інститут аграрної економіки НААН. Аналітична доповідь «Стан та перспективи розвитку спиртової галузі України». Київ, 2021. 56 с.

20. Кабінет Міністрів України. Постанова «Про лібералізацію ринку спирту етилового та впровадження механізму приватизації спиртових підприємств» № 545 від 03.07.2020.

21. Коваленко І. М., Гринько Т. В. Сучасні аспекти використання ферментних препаратів у спиртовому виробництві // Харчова промисловість. – 2022. – № 3. – С. 45–52.

22. Ковальчук С. В. Модернізація спиртової галузі України в умовах ринкової трансформації. Інвестиції: практика та досвід, 2020, № 3, с. 45–50.

23. Крижанівський І. В., & Чорній С. В. Технологічні особливості виробництва біоетанолу з крохмалевмісної та цукровмісної сировини. Наукові праці ОНАХТ, 2018, № 2, с. 134–141.

24. Кукта О. М., Бондаренко, С. М. Ферментні препарати у харчових та біотехнологічних виробництвах. Київ: Центр учбової літератури, 2019. 256 с.

25. Лазаренко В. П. Дріжджі спиртового бродіння : монографія. – Київ : Аграрна наука, 2019. – 268 с.

26. Леськів Г. Я., Кацуба О. І. Експортно-імпортні операції зі спиртом етиловим: динаміка та регулювання. Бізнес Інформ, 2022, № 5, с. 124–130.

27. Лобода М. П., Сіроштан А. І. Технологічні процеси спиртової галузі. Київ: Кондор, 2016. 240 с.

28. Маринченко В. О., Шиян П. Л. Технологія спиртового виробництва: сучасні підходи та інновації. Київ: Харчова промисловість, 2018. 312 с.

29. Мартинюк О. В. Оптимізація параметрів ферментації у виробництві етилового спирту з кукурудзи // Технологія і безпека продуктів харчування. – 2021. – Т. 15, № 2. – С. 33–39.

30. Марченко Т. О. Перспективи використання зерна та побічної сировини АПК для виробництва біоетанолу. Економіка харчової промисловості, 2020, № 12(1), с. 37–44.

31. Мельник Т. М., Кисіль О. М. Інноваційні підходи до низькотемпературного розварювання крохмалевмісної сировини у виробництві біоетанолу. Харчова промисловість, 2019, №3, с. 45–52.

32. Олійник О. М. Конкурентоспроможність спиртових підприємств України: проблеми та шляхи підвищення. Економічний дискурс, 2022, № 4, с. 108–115.

33. Паламарчук І. П., Гончаренко Ю. П. Технологія біоетанолу з крохмалевмісної та цукровмісної сировини. Київ: Аграрна наука, 2021. 220 с.

34. Пономарьов В. І. Впровадження енергоощадних технологій у спиртовому виробництві // Вісник НУХТ. – 2020. – № 4. – С. 78–85.

35. Сидоренко П. П., Романенко Ю. В. Технологічні особливості спиртового виробництва з кукурудзи // Вісник аграрної науки. – 2022. – № 7. – С. 112–119.

36. Ситник Г. І. Вода у технологічних процесах харчових виробництв. – Київ : НУХТ, 2017. – 280 с.

37. Стужук Ю. М. Біоетанол як пріоритетний напрям розвитку біоекономіки України. Вісник аграрної науки, 2019, № 11, с. 64–70.

38. Ткачук О. І., Варламов В. П. Біотехнологія спиртового виробництва. Львів: Новий Світ-2000, 2020. 284 с.

39. ТУ У 24.2–31826657.001–2002. Засіб дезінфікуючий «Полідез». Технічні умови. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2002. – 8 с.

40. Шиян П. В. Екологічні аспекти удосконалення технологій спиртового виробництва // Наукові праці НУХТ. – 2021. – Т. 27, № 4. – С. 134–140.

41. Якименко Н. В., Дубровін В. Є. Енергозберігаючі технології в харчовій промисловості. Харків: ХДУХТ, 2017. 198 с.

42. Dudley B., & Etienne X. Ethanol production, trade, and policy: global perspectives. Energy Policy, 2017, 108, pp. 531–543.

43. Sipos, B., Reczey, J., Somorai, Z., & others. Bioethanol production from renewable raw materials: technological trends. Renewable Energy, 2016, 85, pp. 1151–1161.