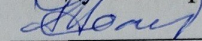


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

До захисту допущено:

Завідувач кафедри



Наталія ГОЛУБ

« 6 » червня 2024 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

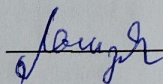
за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»

спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

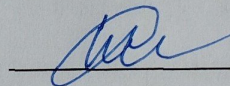
на тему: «Технологія виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини»

Виконав:

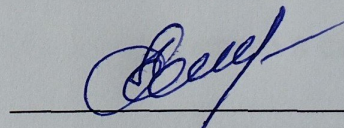
студент IV курсу, групи БЕ-01
Ламза Григорій Сергійович



Науковий керівник: доцент кафедри
біоенергетики, біоінформатики та
екобіотехнології, к.т.н., доцент
Козар Марина Юріївна

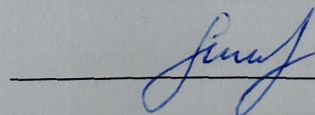


Консультант з проєктування:
професор кафедри біоенергетики,
біоінформатики та екобіотехнології,
д.т.н., професор
Саблій Лариса Андріївна



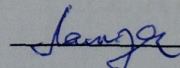
Рецензент:

старший викладач кафедри
промислової біотехнології та біофармації,
к.т.н., Тітова Лариса Олександрівна



Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент



Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-професійна програма «Біотехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Голуб Наталія ГОЛУБ

«15» квітня 2024 р.

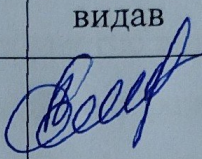
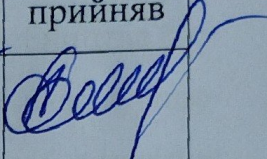
ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Ламзі Григорію Сергійовичу

1. Тема проєкту «Технологія виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини», керівник проєкту Козар Марина Юріївна, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «24» Листопада 2024 р. № 2117-е
2. Термін подання студентом проєкту 6.06.2024
3. Вихідні дані до проєкту: річна забезпеченість підприємства в сировині 5700 тон.
4. Зміст пояснювальної записки: характеристика біологічного агента, біохімічні основи виробництва, контроль виробництва, опис технологічної схеми, розрахунок обладнання для проведення технологічного процесу.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): креслення загального виду ферментеру – 1 арк. А1, технологічна схема – 1 арк. А1, апаратурна схема – 1 арк. А1.

6. Консультанти розділів проекту

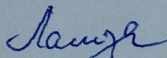
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Графічна частина дипломного проекту (проекткування)	д.т.н., проф. Саблій Л.А.		

7. Дата видачі завдання 15 квітня 2024

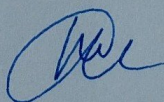
Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Приміт-ка
1.	Характеристика сировини, біологічного агента, обґрунтування технології	15.05. - 18.05.2024	виконано
2.	Біохімічні основи технологічного процесу	19.05. - 24.05.2024	виконано
3.	Технологічна схема	25.05. - 27.05. 2024	виконано
4.	Характеристика і розрахунок обладнання	28.05 - 10.06.2024	виконано
5.	Складання апаратурної схеми	11.06 - 13.06.2024	виконано
6.	Охорона праці та охорона довкілля	14.06-15.06.2024	виконано
7.	Оформлення пояснювальної записки	16.06.-19.06.2024	виконано
8	Подання дипломного проекту на рецензування	19.06.24	

Студент


Григорій ЛАМЗА

Керівник



Марина КОЗАР

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 85 ст., 10 рис., 5 табл., 31 посилання

У дипломному проєкті обрано та обґрунтовано технологію виробництва біоетанолу із целюлозовмісної сировини. У якості сировини було обрано солону пшениці, а в якості біологічного агента штам дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* Cellux™4. Технологія включає допоміжні роботи, такі як: санітарна підготовка виробництва, підготовка теплоносіїв (холодного і гарячого), підготовка очищеного повітря, обробка сировини, підготовка піногасника, приготування поживних середовищ для накопичення посівного матеріалу і виробничого біосинтезу, накопичення біомаси дріжджів. А також основні роботи, такі як: спиртове бродіння, відділення дріжджів на центрифугі, очищення біоетанолу та його зневоднення. Було обґрунтовано вибір технологічної схеми, а саме технології роздільного гідролізу сировини і її зброджування в проточній системі із рециркуляцією біомаси продукента. Охарактеризовано сировину, біологічний агент, наведено біохімічні реакції процесу, розраховано матеріальний баланс, наведено контроль стадій виробничого процесу. Спроектровано ферментер для стадії спиртового бродіння, об'ємом 100 м³, наведено його основні технічні характеристики. Розроблено технологічну та апаратурну схему виробництва біоетанолу із соломи пшениці.

Ключові слова: БІОЕТАНОЛ, СОЛОМА ПШЕНИЦІ, ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНА СИРОВИНА, ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА, ФЕРМЕНТАТИВНИЙ ГІДРОЛІЗ, ЦЕЛЮЛАЗИ, БРОДІННЯ, *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*, ФЕРМЕНТЕР, ЗНЕВОДНЕННЯ.

ABSTRACT

The explanatory note: 81 pages, 10 figures, 5 tables, 31 references

The diploma project selects and substantiates the technology for producing bioethanol from cellulose-containing raw materials. Wheat straw was chosen as the raw material, and the yeast strain *Saccharomyces cerevisiae* CelluxTM4 was used as the biological agent. The technology includes auxiliary operations such as: sanitary preparation of production, preparation of heat carriers (cold and hot), preparation of purified air, raw material processing, preparation of antifoam, preparation of nutrient media for seed material accumulation and production biosynthesis, and yeast biomass accumulation. It also includes main operations such as: alcoholic fermentation, yeast separation using a centrifuge, bioethanol purification, and dehydration. The choice of the technological scheme was substantiated, specifically the technology of separate hydrolysis of raw materials and their fermentation in a flow system with biomass recirculation of the producer. The raw materials and biological agent are characterized, biochemical reactions of the process are described, the material balance is calculated, and the control stages of the production process are presented. A fermenter for the alcoholic fermentation stage with a volume of 100 m³ was designed, and its main technical characteristics are provided. The technological and equipment scheme for bioethanol production from wheat straw is developed.

Keywords: BIOETHANOL, WHEAT STRAW, CELLULOSE-CONTAINING RAW MATERIAL, PRETREATMENT, ENZYMATIC HYDROLYSIS, CELLULASES, FERMENTATION, SACCHAROMYCES CEREVISIAE, FERMENTER, DEHYDRATION.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ.....	8
1.1. Характеристика соломи пшениці як сировини для виробництва біоетанолу	8
1.2. Обґрунтування вибору технології	10
1.3. Характеристика біологічного агента	16
РОЗДІЛ 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	20
2.1. Схема перебігу процесів.....	20
2.2. Характеристика кінцевого продукту	26
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	29
3.1. Матеріали основні і допоміжні.....	29
3.2. Контроль виробництва	33
3.3. Матеріальний баланс	40
3.4. Опис технологічного процесу	42
РОЗДІЛ 4. ПІДБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ	55
4.1. Опис та обґрунтування конструкції бродильного апарата	55
4.2. Технічна характеристика апарата.....	56
4.3. Конструктивний розрахунок ферментеру	57
4.4. Розрахунок перемішуючого пристрою	58
4.5. Тепловий розрахунок	62
4.6. Вибір загальнозаводського обладнання	65
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ.....	66
5.1. Охорона праці та техніка безпеки	66
5.2. Охорона довкілля.....	69

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ламза Г.С.			Літ.	Арк.	Аркушів
Конс.		Саблій Л.А.			6	85	
Керів.		Козар М.Ю.			<i>ЗМІСТ</i>		
Затверд							

<u>ВИСНОВКИ</u>	71
<u>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</u>	72
<u>ДОДАТОК А</u>	76

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

ВСТУП

На сьогодні задоволення потреб людства в паливних ресурсах значною мірою залежить від викопних видів палива, які мають ряд суттєвих недоліків: нерівномірне розповсюдження, вичерпність та дефіцитність запасів (тому їх ціна буде тільки зростати), також при їх спалюванні в атмосфері виділяється величезна кількість вуглекислого газу, який викликає парниковий ефект і сприяє глобальному потеплінню. Через це за останні десятиліття значно зріс інтерес до біопалив, які отримуються з відновлювальних джерел [1].

До них можна віднести біогаз, чисті рослинні олії, біодизель, біобутанол та біоетанол. Біоетанол – зневоднений етиловий спирт, який може бути виробленим з біомаси або етилового спирту-сирцю. Використовується в двигунах внутрішнього згорання як замітник або добавка до нафтового пального. Його можна виробляти з різноманітної відновлювальної сировини, багатої моносахаридами або полісахаридами, які можна гідролізувати до зброджуваних цукрів. Зазвичай для виробництва біоетанолу використовують три основні типи сировини: цукрові та крохмальні культури, такі як зернові, цукрова тростина, кукурудза та інші подібні (біоетанол першого покоління), лігноцелюозна біомаса (біоетанол другого покоління) та мікроводорості (біоетанол третього покоління). Дослідники вважають виробництво біоетанолу ензиматичними методами з лігніноцелюлозних матеріалів найбільш перспективним [2, 4, 5].

Щорічно в світі утворюється ≈ 200 млрд тон фітомаси, що містить целюлозу. За попередніми розрахунками, запаси деревини на планеті приблизно рівні розвіданим запасам нафти, проте вони виснажуються, тоді як запаси рослинної сировини будуть поступово зростати. До того ж целюозна сировина не використовується для виробництва харчових продуктів, тому конкуренція щодо напрямків застосування сировини відсутня. Також вона досить дешева

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ВСТУП</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Ламза Г.С.</i>					8	85
<i>Конс.</i>		<i>Саблій Л.А.</i>						
<i>Керівн.</i>		<i>Козар М.Ю.</i>						
<i>Затверд</i>								
						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ</i>		

(часто взагалі нічого не коштує, оскільки є відходом) [6].

В основі процесу одержання біоетанолу з лігноцелюлозних гідролізатів є реакція розщеплення целюлозних 1→4 β-глікозидних зв'язків з утворенням суміші пентоз і гексоз та подальшому їх зброджуванню. Слід зауважити, що целюлоза є матеріалом, важким для конвертування, що становить значну перешкоду для розповсюдження виробництва біоетанолу другого покоління [6].

Незалежно від способу переробки лігніноцелюлози на етанол існують обмеження процесу:

- важко забезпечити повну деполімеризацію целюлози і геміцелюлози до розчинних цукрів;
- слід ретельно підбирати біологічних агентів, які здатні ефективно ферментувати змішаний цукровмісний гідролізат, в якому можуть бути присутні інгібітори бродіння;
- витрати енергії на весь технічний процес досить значні і їх складно мінімізувати;
- не знайдено економічно виправданого використання лігніну [10].

Актуальність полягає в тому, що Україна володіє значними земельними ресурсами і сировинним запасом, а також наявністю власних виробничих потужностей. Річний енергетичний потенціал біоетанолу в Україні, який є технічно-досяжним, дорівнює 606 тис. тон нафтового еквіваленту. В Україні збудовано 22 невеликих біоетанолових заводи, загальною потужністю ≈500 млн. л/рік [2, 3].

Метою роботи є вибір, опис та обґрунтування найбільш доцільної технології отримання біоетанолу з целюлозовмісних відходів сільського господарства при їх попередній обробці лугом та ферментативному гідролізові.

Для досягнення поставленої мети під час проектування буде розглянуто наступні завдання:

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

1. На основі вітчизняної і зарубіжної літератури провести обґрунтування вибору технології виробництва біоетанолу, описати сировину та біологічний агент.
2. Навести біохімічні основи процесу біосинтезу етанолу.
3. Здійснити технологічні розрахунки та вибір обладнання для виробництва біоетанолу. Навести характеристику обраного обладнання. Розрахувати матеріальний баланс процесу.
4. Розробити технологічну та апаратурну схеми виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини та накреслити їх. Також накреслити ферментер для виробничого біосинтезу етанолу.
5. Надати основні вимоги з охорони праці та захисту довкілля при виробництві біоетанолу.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ

1.1. Характеристика соломи пшениці як сировини для виробництва біоетанолу

Солома являє собою залишки стебел сільськогосподарських злакових культур, які утворюються під час обмолоту зерна. Широко застосовується в тваринництві як корм або підстилочний матеріал. Знаходить своє застосування як добриво для підвищення вмісту гумусу в ґрунті й покращення його родючості, також є енергетичною сировиною. Слід зазначити, що вона має певну сезонну доступність: озимі культури збирають із липня по вересень, а ярі – з кінця серпня до початку листопада.

Україна за минулі жнива, в 2023 році, збрала 47 мільйонів тон зернових культур. За оцінками експертів, після обмолоту зернових на полях залишається від трьох до п'яти тон соломи на гектар. Щорічно в Україні виробляється близько 50-60 млн. тон соломи. 20-40 % від цієї кількості взагалі ніде не використовується, тому нагальним є пошук способів її переробки і утилізації [5, 8, 11].

Солома пшениці характеризується високим вмістом сполук карбону, співвідношення C:N може перевищувати 100 разів, що робить її чудовим джерелом вуглецевого живлення. Фракції вуглеводів представлені, в основному, ланцюгами полісахаридів, які скріплені в міцні каркаси лігніном. Містить 12-20% лігніну, 80-88% вуглеводів, серед яких целюлоза, геміцелюлоза (13-43%), можуть бути присутні від 5% до 20% ксилози і арабінози [5, 10].

За рахунок своєї широкої розповсюженості, низької вартості, непоганих енергетичних показників (питома теплота згорання соломи – 14 МДж/кг, тобто при спалюванні 3 т соломи ми отримаємо скільки ж енергії як при спалюванні 1 т рід-

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ламза Г.С.			ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ	Літ.	Арк.	Аркушів
Конс.		Саблій Л.А.					11	85
Керівн.		Козар М.Ю.				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ</i>		
Затверд								

кого палива для печей або 1000 м³ природного газу або 1,55 т вугілля) та природньо низької вологості (10-20%) солома є хорошим джерелом енергії [5].

В значній кількості містяться хлор, лужні метали та сірка (табл. 1.1.), тому в процесі прямого спалювання утворюються хлориди натрію та калію, які, за високих температур, спричиняють корозію сталевих елементів енергетичного обладнання. Зола соломи плавиться при температурі 800-950 °С, що може призвести до значного виходу шлаку у (4-6% від маси), який буде обліплювати елементи енергетичного обладнання. Саме ці фактори значно обмежують її використання в цій сфері. [5,7].

Таблиця 1.1. Хімічний склад та енергетичні характеристики біопалива [7].

Показник	Свіжа со- лома	Лежала со- лома	Солома ози- мої пшениці	Деревна трі- ска
Вологість, %	10-20	10-20	11,2	40
Вміст летких речо- вин, %	>70	>70	80,2	>70
Зольність, %	4	3	6,59	0,6-1,5
Елементний склад, %:				
C	42	43	45,64	50
H	5	5,2	5,97	6
Cl	0,75	0,2	0,392	0,02
K	1,18	0,22	-	0,13-0,35
N	0,35	0,41	0,37	0,3
S	0,16	0,13	0,08	0,05

Для транспортування та зберігання важливою якістю є насипна густина. У неущільненої соломи-січки вона складає близько 50 кг/м^3 , для тюків соломи – понад 100 кг/м^3 . Тому солону зазвичай пресують в тюки квадратного або круглого перерізу за допомогою прес-підбирачів [7].

Спосіб зберігання впливає на якість соломи. Солом'яні тюки можна зберігати на відкритому повітрі в штабелях, але краще під навісами або в закритих приміщеннях, бо при зберіганні на відкритому повітрі є ризик, що значна частина соломи намокне, згниє і стане непридатною для подальшого використання. Найкращими варіантами є зберігання в амбарах (під дахом і на опорах), під брезентом або під пластиковою плівкою. За таких умов лише 10% соломи стають непридатними для подальшого використання і йдуть на утилізацію [8].

1.2. Обґрунтування вибору технології

Даний проєкт технології отримання біостанолу можна віднести до крупнотонажного виробництва, адже маса сировини, що переробляється кожного дня є доволі значною.

Для підвищення ефективності було обрано роздільний гідроліз та зброджування в проточній системі із рециркуляцією дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, яка подібна до безперервного режиму культивування (в один апарат подають поживне середовище, накопичену біомасу продуцента, отриману від стадії напрацювання посівного матеріалу, а також рециркульовану біомасу отриману після розділення культуральної рідини).

Завдяки стерилізаційним процедурам та природному інгібуванню сторонньої мікрофлори досягається відповідний рівень асептики.

Культивування відбувається глибинним способом на рідкому поживному середовищі. Біосинтез етанолу проходить за анаеробних умов, накопичення біомаси посівного матеріалу – з аерацією. В якості поживних середовищ виступають гідролізат соломи пшениці з мінеральними солями і сусло з добавкою мінеральних солей.

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

Гідроліз лігноцелюлозної сировини проводиться ферментативними препаратами після її фізичної обробки (подрібнення) та попередньої хімічної обробки лугом [9].

Виділення біоетанолу відбувається в в трьохколонному брагоректифікаційному апараті, а зневоднення на молекулярних ситах (Рис. 1.2.1) [9].

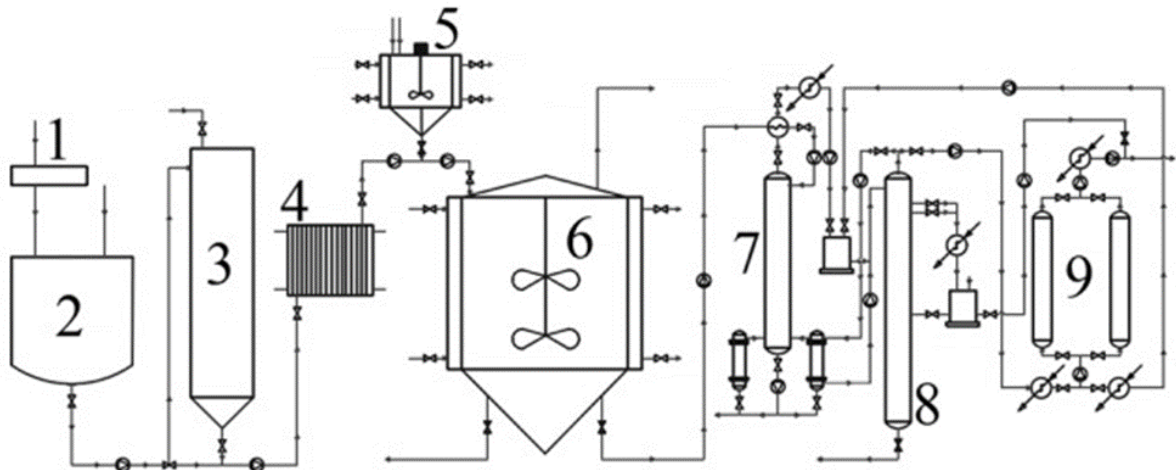


Рис. 1.2.1 Схематичне зображення устаткування для виробництва біоетанолу з лігноцелюлозовмісної сировини [9].

1 – подрібнювач, 2 – реактор для попередньої обробки, 3 – реактор для ферментативної обробки, 4 – теплообмінник, 5 – інокулятор, 6 – ферментер, 7 – дистиляційна колона, 8 – ректифікаційна колона, 9 – молекулярні сита.

Процеси фізичної попередньої обробки включають в себе подрібнення біомаси в до порошкоподібного стану для полегшення наступної хімічної та біологічної обробки. Залежно від природи сировини, метод попередньої обробки відрізняється, таким чином мінімізуючи деградацію субстрату та, в той же час, покращуючи вихід гідролізу. Чим краще біомаса подрібнюється, тим легшим стає доступ активного центру ферментів до полісахаридів. Ідеальний розмір частинок коливається в діапазоні від декількох сантиметрів до кількох міліметрів. Зазвичай соломі подрібнюють в молотковому млині, адже він є більш енергоефективним за дискові або вальцеві подрібнювачі [12].

Є два основних способи гідролізу лігноцелюлози: кислотний і ферментативний. Кислотний гідроліз потребує значних витрат енергії (пару потрібно нагріти до 190°C), також паралельно гідролізу полісахаридів відбувається розкладання моносахаридів з утворенням фурфуролу, оксиметилфурфуролу та мурашиної кислоти, які є інгібіторами бродіння. Вихід біоетанолу знижується [13].

Ферменти здатні каталізувати процеси гідролізу целюлози в більш м'яких умовах, без побічних продуктів та зі значним виходом цукрів. До целюлолітичних ферментів відносять ендоглюконази, целобіогідролази та β -глюкозидази. Вони входять до складу ферментних препаратів. Їх, в свою чергу, виготовляють на основі культуральної рідини, яка утворюється при культивуванні дереворуйнівних грибів таких, як *Trichoderma reesei* та інші. Для запобігання можливого шкідливого впливу речовин, які утворилися при хімічній обробці, на процес ферментації та оптимізації рівня рН, використовують буферні розчини. Оптимальні умови для роботи більшості целюлаз і β -глюкозидаз досягаються при температурі ≈ 50 °C і рН 4-5 [10].

Ензиматичне розщеплення целюлози на глюкозу без попередньої обробки біомаси відбувається повільно (рис. 1.2.2). Цей процес необхідний для досягнення максимально можливого виходу спирту і покращення комерційної вигідності виробництва. Грамотна підготовка біомаси допомагає значною мірою зменшити вимоги до якості ферментів і, відповідно, їх вартість [10].

Хімічна обробка сировини може проходити в присутності органічних розчинників чи іонних рідин. Найчастіше застосовують низькоконцентровані розчини кислот та лугів. Наразі не існує економічно доцільних рішень для переробки і утилізації іонних рідин, а органічні розчинники хоч і здатні відділити значну кількість лігніну, розчинити геміцелюлозу та бути повторно використані (що є вагомим аргументом на користь їх застосування), але вони ще досить мало вивчені і не можуть бути впроваджені в даній технології [12].

					ДП БЕ01.16.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

При довготривалій обробці з поступовим підвищенням рН досить ефективно можна також відділити геміцелюлозу від субстрату [12].

Гідроліз і ферментація можуть проходити в одному апараті чи в різних. При одночасному оцукрюванні і ферментації цукри, що виділяються негайно використовуються мікроорганізмами. Оптимальна температура становить 38 °С, її підбирають так, щоб термофільні ферменти працювали (оптимум 50 °С), а дріжджі (оптимум 28-32 °С) не втрачали своєї життєздатності. При роздільному гідролізові і ферментації ферменти і дріжджі працюють за своїх температурних оптимумів, що значно підвищує продуктивність обох процесів. Проте слід уважно відслідковувати наявність мікробного забруднення [9].

Існує декілька режимів культивування при промисловому виробництві спирту:

1. **Періодичне:** зброджування проходить в одному апараті заповненому поживним середовищем і дріжджами. По закінченню апарат звільняється від бражки, яку далі перекачують на бражну колону ректифікаційної установки, та проводять підготовчі роботи для наступного циклу бродіння. Перевагою є менша кількість апаратів та досить висока асептика, недоліком – низька швидкість та необхідність переробки дріжджевої біомаси.
2. **Циклічне:** вимагає наявності кількох апаратів. Один використовується як джерело виробничої біомаси дріжджів, а інший для зброджування. Після подачі поживного середовища та дріжджів в бродильний апарат процес реалізується як періодичний. Має ті ж самі недоліки.
3. **Безперервне культивування:** відбувається в апараті, в який поступово подають культуру виробничих дріжджів та свіже поживне середовище, а також відкачують культуральну рідину. Перевага підвищена продуктивність процесу за рахунок відсутності інгібування високими концентраціями спиртів, недолік – біомаса дріжджів теж видаляється і повинна бути передбачена технологія її переробки.

РОЗДІЛ 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

2.1. Схема перебігу процесів

М'яка лужна екстракція лігніну може проходити на обладнанні для крафт-процесів при виробництві целюлози для паперу, адже ці процеси дуже подібні. Проводиться вона задля розчинення як лігніну, так і геміцелюлози без руйнування целюлози, щоб збільшити пористість і площу поверхні целюлози, тим самим посилюючи потенційний ферментативний гідроліз целюлози. Твердий залишок (целюлоза) може бути використаний у його полімерній формі (папір, та похідні целюлози) або як сировина для біоетанолу в його мономерній формі (глюкоза) [19].

При обробці лігноцелюлозної біомаси лугом досягається високий рівень розчинення лігніну, яке відбувається за декілька реакцій. Розриваються деякі лужнолабільні зв'язки між мономерами лігніну або лігніном і полісахаридами. Паралельно целюлоза набухає внаслідок розриву міжмолекулярних водневих зв'язків, які зв'язують між собою молекули полімерів (рис. 2.1) [19].

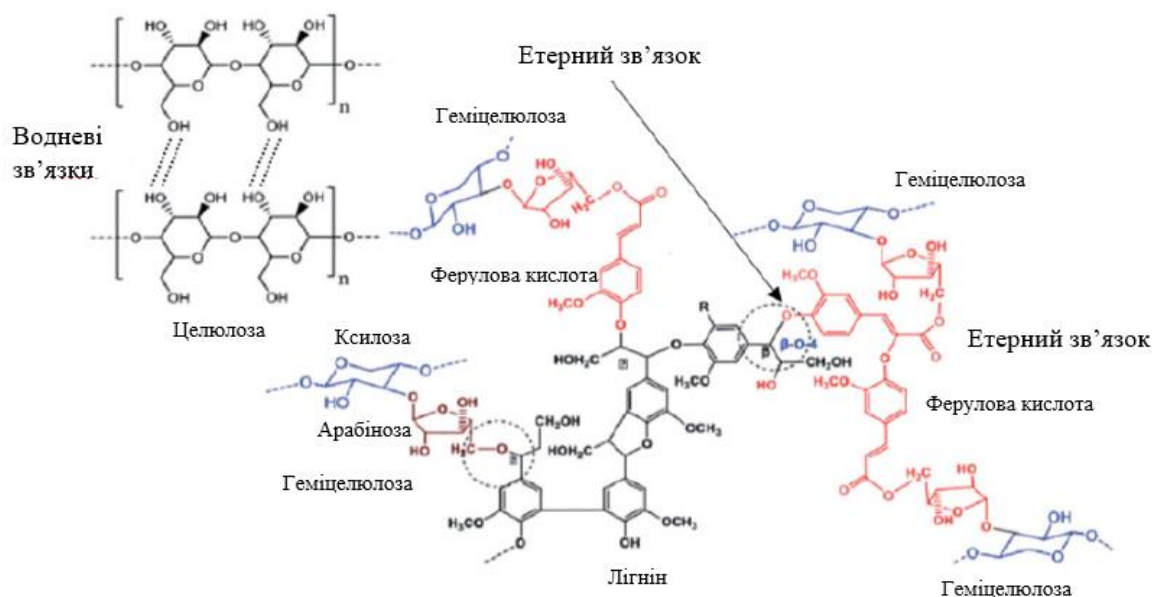


Рис 2.1 Лабільні до лугів зв'язки між компонентами лігноцелюлози [19].

					ДП БЕ01.16.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Ламза Г.С.				Літ.	Арк.	Аркушів
Конс.	Саблій Л.А.					23	85
Керівн.	Козар М.Ю.				БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Затверд							

Зв'язані етерним зв'язком замісники геміцелюлоз (ацетатні групи, уронові кислоти) та фенольні мономери, такі як: ферулова кислота, п-кумарова кислота і синапінова кислота розщеплюються. Однак деякі молекули ферулової кислоти, утворюють ефірні зв'язки через фенольну групу, в такому випадку потрібні більш жорсткі умови для їх розчинення [19].

Лігнін нерозчинний ні в нейтральних, ні в кислотних умовах. Його солубілізація в лужних умовах є наслідком наявності в структурі полімеру кислотних фрагментів (карбоксильних або фенольних груп), які іонізуються в лужному середовищі, а гідроліз виникає внаслідок розщеплення ефірних зв'язків β -O-4 у поліфенольних одиницях. Лігнін, екстрагований м'яким лужним фракціонуванням, містить дуже низький рівень зв'язаних цукрів (1–3%) [19].

Ксилани піддаються лише частковому гідролізу в лужному розчині при кімнатній температурі. Через м'якші умови, ніж при кислотній екстракції, відпадає потреба в дорогих матеріалах і спеціальних конструкторських рішеннях для боротьби з корозією апаратів. Проте час реакції зазвичай довший, а також деякі з лужних сполук входять до складу біомаси у вигляді солей [19].

Хоча целюлоза є хімічно однорідною, але може існувати в двох формах (кристалічній та аморфній), через це жоден фермент не спроможний повністю її гідролізувати. Для розкладання цього полісахариду до моноцукрів потрібно щонайменше три різні ферменти класу із целюлаз. Основними представниками є ендо-1,4- β -D-глюканаза, екзо-1,4- β -глюканаза і β -D-глюкозидаза (рис. 2.2.). Ці багатоферментні системи діють у синергії, щоб забезпечити ефективний гідроліз целюлози. Існують чотири види синергії: [20, 21].

1. Ендо-екзо-синергія між ендоглюканазами та екзоглюканазами.
2. Екзо-екзо-синергія між екзоглюканазами.
3. Синергія між екзоглюканазами та β -глюкозидазами.
4. Внутрішньомолекулярна синергія між каталітичними та зв'язувальними доменами [20].

Метаболізм ксилози

Завдяки D-ксилозоізомеразі, експресованій від бактерій роду *Clostridium*, відбувається перетворення ксилози (альдопентози) на ксилулозу (кетопентозу). Далі, використовуючи фосфор з АТФ, вона фосфорилується ксилулокіназою до ксилулозо 5-фосфату [23].

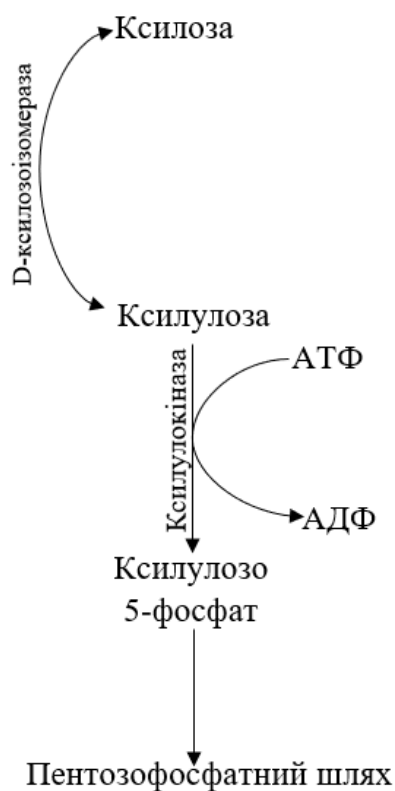


Рис. 2.5 Схема метаболізму ксилози [23].

Ксилулозо-5-фосфат у пентозофосфатному циклі метаболізується до гліцераальдегід-3-фосфату та фруктозо-6-фосфату, потім ці сполуки перетворюються на піруват на шляхом гліколізу. Піруват остаточно перетворюється на етанол або приймає участь в енергетичному обміні [23].

2.2. Характеристика кінцевого продукту

Відповідно до чинного стандарту ДСТУ 7166:2010 «Біоетанол. Технічні умови», етиловий спирт, що використовується в якості палива буває двох марок А і Б. Єдина відмінність між ними полягає в значенні показника мінімальної об'ємної частки спирту етилового. В марці А він складає 97,8%, в марці Б – 98,3%.

					ДП БЕ01.16.000 ПЗ	Арк.
Зм..	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

Табл. 2.2. Характеристика біоетанолу марки А [24].

Назва показника	Характеристика і норма
Зовнішній вигляд та колір	Прозора безбарвна рідина або світло-жовтої забарви
Густина за температури (20+/-0,1) °С, кг/м ³	Від 787 до 792
Об'ємна частка води, %, не більше ніж	0,2
Масова концентрація сухого залишку, мг/дм ³ , не більше ніж	100
Об'ємна частка спирту етилового, %, не менше ніж	97,8
Об'ємна частка метанолу, %, не більше ніж	1,0
Об'ємна частка циклогексану, %	-
Масова частка кислот у перерахунку на оцтову кислоту, %, не більше ніж	0,007
Масова концентрація вищих спиртів C ₃ – C ₅ , г/дм ³ , не більше ніж	12,0
Об'ємна частка бензину (вуглеводнів), %	Від 1,0 до 1,5
Масова частка сірки, мг/кг, не більше ніж	10,0
Масова концентрація фосфору, мг/дм ³ , не більше ніж	0,5
Масова частка міді, мг/кг, не більше ніж	0,1
Масова концентрація неорганічних хлоридів, мг/дм ³ , не більше ніж	20,0

Біоетанол має досить обширний перелік можливих застосувань, але майже всі вони зводяться до отримання теплової або електричної енергії, також може бути сировиною для хімічної промисловості. В автомобільних двигунах внутрішнього згорання найчастіше виступає в ролі добавки до бензину, адже, має певні недоліки. Менша на 37% енергоємність, в порівнянні з бензином, спричиняє збільшення витрати спиртового палива, висока температура випаровування і низький тиск насичених парів – проблеми із запуском двигуна, може спричинити корозію двигуна (за присутності вологи) [6].

Суміші бензину з етанолом не тільки позбавлені цих недоліків, але мають і свої переваги: зниження токсичності вихлопу на 21 %, більш повне згорання палива, скорочення викидів угарного газу на 30%, зменшується кількість нагару (підтримується чистота двигуна) [6].

На сьогодні значна кількість сумішей бензину з етанолом є стандартизованими, відповідно до «ДСТУ EN 15376:2015». Їх позначають літерою E (від Ethanol – етанол) і числом, яке вказує на відсотковий вміст спирту в суміші.

- Суміші E5, E7, E10 з низьким вмістом етанолу застосовують для заміни токсичного метил-трет-бутилового етеру та економії бензину.
- E10 або газохол набуло широкого використання після набуття чинності обмеженнями на застосування метил-трет-бутилового етеру в США та інших країнах.
- E20, E25 використовуються лише в Бразилії, оскільки ціни на нафтопродукти є значно вищими ніж на етанол.
- Автомобілі з гнучким вибором палива в США та Бразилії зазвичай заправляють E85 [6].

Біоетанол розливають в цистерни або в каністри (за ДСТУ EN 12712:2005) для подальшого транспортування. Обов'язковим є нанесення маркування, що попереджає про можливе займання. На етикетці вказується умови зберігання, виробник, строк придатності та склад.

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм..</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Матеріали основні і допоміжні

Таблиця 3.1 – Характеристика сировини, матеріалів та напівпродуктів

Найменування	Категорія і номер НТД, згідно якої перевіряються показники якості	Показники, що обов'язкові для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
1	2	3	4
1. Основна сировина:			
1.1. Солома пшениці	-	Відсутність гниття та іншої контамінації	Основна сировина
1.2. Сусло	ДСТУ 4282:2018 Солод пивоварний ячмінний. Загальні технічні умови	Вміст вуглеводів не менше 60 г/л	Компонент поживного середовища для інокуляції дріжджів
1.3. Вода питна	ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості»	Відсутність всіх видів забруднень, загальна жорсткість не більше 5 ммоль/л	Розчинення компонентів поживного середовища
1.4. Сульфат амонія	ДСТУ ISO 2992:2008. «Амонію сульфат технічний»	Відсутність домішок	Джерело азотного живлення

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Ламза Г.С.				Літ.	Арк.	Аркушів
Конс.	Саблій Л.А.					32	85
Керівн.	Козар М.Ю.				<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i> <i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ</i>		
Затверд							

Найменування	Категорія і номер НТД, згідно якої перевіряються показники якості	Показники, що обов'язкові для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
1.5. Ортофосфат магнія	-	Відсутність домішок	Джерело фосфатного живлення та мікроелементів
1.6. Сульфат цинку	ГОСТ 4174-77 Цинк сірчаноокислий 7-водний. Технічні умови.	Відсутність домішок	Джерело мікроелементів
1.7. Дигідроортофосфат калія	ДСТУ 7260:2012 Хімічні реактиви.	Відсутність домішок	Джерело фосфатного живлення
1.8. Хлорид кальцію	Методи готування розчинів для титрування осадженням і неводного титрування та визначення їхньої молярної концентрації	Відсутність домішок	Джерело мікроелементів
1.9. Сульфат заліза	ДСТУ 2463-94 Купорос залізний технічний. Технічні умови (ГОСТ 6981-94)	Відсутність домішок	Джерело мікроелементів

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Найменування	Категорія і номер НТД, згідно якої перевіряються показники якості	Показники, що обов'язкові для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
1.10. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Cellux™4	-	Мікробіологічна чистота	Посівний матеріал
2. Допоміжна сировина:			
2.1. Карбонат натрію	-	Відсутність домішок	Реагент для гідролізу
2.2. Каустична сода	-		Миючий засіб
2.3. «Біомой»	ТУ У 22902465.005-96	Розчинність у воді не менше ніж 30 г/дм ³	Дезинфікуючий засіб
2.4. Соляна кислота	ДСТУ 2904-94 (ГОСТ 857-95) Кислота соляна синтетична технічна. Технічні умови. З Поправкою (ІПС № 9-2006)	Відсутність домішок	Реагент для нейтралізації гідролізату
3. Матеріали:			
3.1. Цеолітні молекулярні сита	-	Статична адсорбція води не менше ніж 22 ± 3%	Дегідруючий агент

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

3.2. Каністри	ДСТУ EN 12712:2005 «Каністри пластмасові.», ГОСТ 14192-96 «Маркування вантажів»	Наявність маркування, герметичність	Тара для розливу готової продукції
4. Напівпродукти:			
4.1. Целюлозний гідролізат	-	Вміст цукрів не менше 25 г/дм ³	Джерело вуглецю
4.2. Дріжджева біомаса	-	Відсутність чужорідної мікрофлори	Засівання сировища
4.3. Бражка	-	Вміст спирту не менше 1,6%	Перегонка
4.4. Барда	-	Вміст спирту не більше 0,02%	Утилізація
4.5. Спирт-сирець	ДСТУ 5042:2008 Спирт етиловий-сирець.	Вміст етанолу 70%	Ректифікація
4.6. Діоксид вуглецю	ДСТУ 4817:2007. Діоксид вуглецю газоподібний і скраплений. Технічні умови	Чистоту не менше 99,998%	Утилізація

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

3.2. Контроль виробництва

Таблиця 3.2. – Точки і параметри контролю виробництва

№ п/п	Найменування стадії процесу, місце заміру параметра або відбору проби	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Метод контролю параметра, тип приладу
1	ДР 1.2. Підготовка очищеної води	Присутність домішок солей	Перед кожним виробничим циклом	Відсутність домішок	Хімічний аналіз
		Мікробіологічна чистота		Стерильність	Висів на чашки Петрі
2	ДР 1.3. Підготовка пари	Тиск	Весь час	0,01-0,6 МПа	Манометр
		Температура		120-135°C	Термометр
3	ДР 1.4.1 Приготування розчину Біомой	Концентрація	Кожну операцію	0,3%	Дозатор
		Частота обертів мішалки		40-50 об/хв	Тахометр
		Рівень рідини		70%	Рівнемір

№ п/п	Найменування стадії процесу, місце заміру параметра або відбору проби	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Метод контролю параметра, тип приладу
4	ДР 1.4.2 Приготування розчину каустичної соди	Концентрація	Кожну операцію	0,3%	Дозатор
		Частота обертів мішалки		40-50 об/хв	Тахометр
		Рівень рідини		70%	Рівнемір
5	1.6.3. Перевірка герметичності	Тиск	Кожну операцію	0,2 МПа	Манометр
		Герметичність		Відсутність витоків газу	Течешукач
6	ДР 1.6.6. Стерилізація обладнання комунікацій	Тиск	Кожну операцію	0,6 МПа	Манометр
		Температура		135 °С	Термометр
		Мікробіологічна чистота		Відсутність мікрофлори	Висів на чашку Петрі
7	ДР 2.1. Підготовка холодного теплоносія	Температура	Кожну операцію	15°С	Термометр

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Продовження таблиці 3.2.

№ п/п	Найменування стадії процесу, місце заміру параметра або відбору проби	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Метод контролю параметра, тип приладу
8	ДР 2.2. Підготовка гарячого теплоносія	Температура	Кожну операцію	50-100°C	Термометр
9	ДР 3. Підготовка стерильного повітря	Вологість	Раз на тиждень	50%	Психрометр
		Температура		30°C	Термометр
		Мікробіологічна чистота		Кількість КУО > 1 на м ³	Прилад Кротова
10	ДР 4.3. Ферментативний гідроліз	Вміст цукрів	Кожну операцію	Не менше ніж 25 г/дм ³	Хімічний аналіз
		Температура		40-50 °C	Термометр
		pH		4,8	pH-метр
11	ДР 5. Підготовка піногасника	Мікробіологічна чистота		Відсутність контамінації	Висів на чашки Петрі
		Концентрація		2-2,5%	Хімічний аналіз

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ДП БЕ01.16.000 ПЗ

Арк.

38

№ п/п	Найменування стадії процесу, місце заміру параметра або відбору проби	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Метод контролю параметра, тип приладу
12	ДР 6. Підготовка поживного середовища для посівного матеріалу	Температура	Кожну операцію	30°C	Термометр
		Мікробіологічна чистота		Відсутність контамінації	Висів на чашки Петрі
13	ДР 7. Накопичення біомаси дріжджів	Температура	Кожну операцію	30°C	Термометр
		pH		4,5	pH-метр
		Аерація		60 м ³ /год	Витратомір
		Мікробіологічна чистота		Відсутність контамінації	Висів на чашки Петрі
14	ДР 8. Приготування поживного середовища для зброджування	Температура	Кожну операцію	30°C	Термометр
		Мікробіологічна чистота		Відсутність контамінації	Висів на чашки Петрі

№ п/п	Найменування стадії процесу, місце заміру параметра або відбору проби	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Метод контролю параметра, тип приладу
15	ТП 9. Спиртове бродіння	Температура	Протягом усього процесу	30°C	Термометр
		Рівень рідини		70%	Рівнемір
		pH		3,5	pH-метр
		Частота обертів мішалки		1 с ⁻¹	Тахометр
		Мікробіологічна чистота		Відсутність контамінації	Висів на чашки Петрі
16	ТП 11.1. Очищення біоетанолу в бражній колоні	Температура	Кожну операцію	80-90°C	Термометр
		Тиск		0,2 МПа	Манометр
		Концентрація етанолу		20-40%	Хімічний аналіз

№ п/п	Найменування стадії процесу, місце заміру параметра або відбору проби	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Метод контролю параметра, тип приладу
17	ТП 11.2. Очищення біоетанолу в ректифікаційній колоні	Температура	Кожну операцію	80-90°C	Термометр
		Тиск		0,2 МПа	Манометр
		Концентрація етанолу		95-96%	Хімічний аналіз
18	ТП 11.3. Очищення біоетанолу в метанольній колоні	Температура на живильній тарілці	Кожну операцію	80-81 °C	Термометр
		Температура над верхньою тарілкою		65-68 °C	Термометр
		Тиск		0,01 МПа	Манометр

№ п/п	Найменування стадії процесу, місце заміру параметра або відбору проби	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Метод контролю параметра, тип приладу
19	ТП 12. Зневоднення біоетанолу	Температура	Кожну операцію	115 °С	Термометр
		Тиск		0,5 МПа	Манометр
		Вміст води		< 0,2%	Хімічний аналіз
20	ПМВ 13.1 Денатурація та розлив біоетанолу	Вміст денатурату	Кожен день	1-10%	Хімічний аналіз
21	ПВ 14.2. Очищення газів	Забруднення іншими сполуками	Кожну операцію	Відсутність домішок	Хімічний аналіз
22	ЗВ 15 Знешкодження відходів	Вміст забруднень	Кожен день	Відповідно до ГДК	Хімічний аналіз

3.3. Матеріальний баланс

Матеріальний баланс виробництва, який розраховано на 1 тону сировини наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Матеріальний баланс виробництва

Використано			Отримано		
Стадія	Назва сировини, матеріалів та напівпродуктів	Кількість	Стадія	Назва сировини, матеріалів та напівпродуктів	Кількість
		кг			кг
ДР 4.2. Попередня обробка сировини	Солома пшениці	1000	ДР 4.2. Попередня обробка сировини	Лігнін	120
				Підготовлена сировина	880
ДР 4.3. Ферментативний гідроліз	Підготовлена сировина	880	ДР 4.3. Ферментативний гідроліз	Гідролізат, що містить глюкозу	5718
	Ферментний препарат	44			
	Ортофосфатна кислота	44			
	Вода	4750			

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ДП БЕ01.16.000 ПЗ

Арк.

43

Використано			Отримано		
Стадія	Назва сировини, матеріалів та напівпродуктів	Кількість	Стадія	Назва сировини, матеріалів та напівпродуктів	Кількість
		кг			кг
ДР 7. Накопичення біомаси дріжджів	Поживне середовище	2100	ДР 7. Накопичення біомаси дріжджів		
	Культура <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	21			
ТП 9. Спиртове бродіння	Гідролізат, що містить глюкозу	5718	ТП 9. Спиртове бродіння	Бражка	19560
	Мінеральні солі	50		Недіездатні дріжджі	1500
	Вода	13321		Вуглекислий газ	150
	Суспензія дріжджів	2121			

Використано			Отримано		
Стадія	Назва сировини, матеріалів та напівпродуктів	Кількість	Стадія	Назва сировини, матеріалів та напівпродуктів	Кількість
		кг			кг
ТП 11. Очищення біоетанолу	Водяна пара	55836	ТП 11. Очищення біоетанолу	95% Етанол	300
				Барда	30034
	Бражка	19560		Лютерна вода	45040
				Сивушні масла	5
				Метанол	21
ТП 12. Зневоднення біоетанолу	95% Етанол	300	ТП 12. Зневоднення біоетанолу	Біоетанол 97,3%	293,1
				Вода	6,9
Всього: 103624 кг			Всього: 103624 кг		

3.4. Опис технологічного процесу

ДР 1. Санітарна підготовка виробництва

Санітарна підготовка виробництва здійснюється шляхом проведення щоденного прибирання після кожної зміни та генерального прибирання виробничих приміщень, а також приготування миючих і дезінфікуючих розчинів, підготовки обладнання та комунікацій.

ДР 1.1. Підготовка персоналу

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

Кожний працівник повинен знати весь перелік та послідовність технологічних стадій виробничого процесу, бути проінформованим щодо техніки безпеки, дотримуватись особистої гігієни та правил поведінки. Персонал забезпечують необхідним захисним одягом та індивідуальними засобами захисту. Періодично перевіряють рівень кваліфікації.

ДР 1.1. Підготовка персоналу

Кожний працівник повинен знати весь перелік та послідовність технологічних стадій виробничого процесу, бути проінформованим щодо техніки безпеки, дотримуватись особистої гігієни та правил поведінки. Персонал забезпечують необхідним захисним одягом та індивідуальними засобами захисту. Періодично перевіряють рівень кваліфікації.

ДР 1.2. Підготовка очищеної води

Вода подається з магістрального трубопроводу В 1 на фільтр грубої очистки ГФ-2, де проходить попереднє очищення від крупних завислих частинок. Далі за допомогою установки зворотного осмосу УЗО-4 видаляють розчинені солі, колоїдні домішки, розчинені органічні сполуки, бактерії і віруси. В результаті такої обробки з води видаляється до 99,99% контамінацій різної природи. Далі воду подають в магістральний трубопровід Т 1.4 для використання на стадіях: ДР 1.3, ДР 1.4.1, ДР 1.4.2, ДР 1.6.2, ДР 2.1, ДР 4.1, ДР 5.1. Здійснюють контроль хімічний і мікробіологічний.

ДР 1.3. Підготовка пари

У паровому котлі К-5, який може працювати під високим тиском підготовлюють насичену водяну пару, яку далі транспортують магістральним трубопроводом Т 2.0. Її температура і тиск варіюються від подальшого використання. Для стерилізації обладнання та комунікацій на ДР 1.6.4 використовують гостру пару з тиском 0,6 МПа та температурою 135 °С, для стерилізації піногасника на ДР 5.2 і термостабільних компонентів поживного середовища на ДР 6.1 та ДР 6.2 – глуху пару за температури 120 °С і відповідного тиску (Р = 0,3 МПа). Пару, що використовують

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

в колонах ректифікаційної установки на ТП 11 готують за досить низького тиску ($P = 0,01-0,2$ МПа). Контролюють температуру і тиск.

ДР 1.4. Приготування миючих та дезінфікуючих розчинів

Обробка обладнання та поверхонь здійснюється миючими та дезінфікуючими засобами відповідно до «Методичних рекомендацій щодо приготування і застосування робочих розчинів мийних, дезінфекційних, мийно-дезінфекційних засобів та антисептиків», затверджених Наказом МОЗ України від 14 грудня 2001 р. № 502. В ролі миючого засобу використовують 2% розчин каустичної соди, а дезінфікуючого засобу – 0,3% розчин Біомой.

ДР 1.4.1 Приготування розчину Біомой

Порошок засобу Біомой зі складу через дозатор Д-6 подають у реактор з механічним перемішуючим пристроєм Р-7, де він розчиняється у відповідній кількості очищеної води від ДР 1.2 при безперервному перемішуванні в режимі 40 об/хв. При цьому контролюють заповнення реактора, температуру, частоту обертів мішалки та хімічний склад. Далі ним миють робочі поверхні виробничих приміщень на ДР 1.5.

ДР 1.4.2 Приготування розчину каустичної соди

Кристали каустичної соди зі складу через дозатор Д-8 подають у реактор з механічним перемішуючим пристроєм Р-9, де вони розчиняються у відповідній кількості очищеної води від ДР 1.2 при безперервному перемішуванні в режимі 40 об/хв. При цьому контролюють заповнення реактора, температуру, частоту обертів мішалки та хімічний склад. Далі цим розчином миють обладнання та прилеглі комунікації на ДР 1.6.1.

1.5. Підготовка виробничих приміщень

Основною метою даної стадії є очищення обладнання та робочих поверхонь від забруднень, які виникають в процесі виробничого процесу та пониження мікробіологічного забруднення на 50-60%. Щоденне прибирання проводять два рази на

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

добу, генеральне – перед початком кожного виробничого циклу. Поверхні обробляють 0,3% розчином засобу Біомой від ДР 1.4.1.

1.6. Підготовка обладнання та комунікацій

Обладнання та прилеглі до нього комунікації миють, споліскують, перевіряють на герметичність та стерилізують гострою парою.

1.6.1. Мийка обладнання та комунікацій

За допомогою гідромонітору Г-13А, який опускають через люк апаратів чи ємностей. Обладнання миють 2% розчином каустичної соди від ДР 1.4.2 при тиску 0,6 МПа і температури 70 °С. Тривалість промивки залежить від рівня забрудненості поверхні, зазвичай складає 15-20 хв. Змивні води ідуть на утилізацію до ЗВ 15.2.

1.6.2. Ополіскування обладнання та комунікацій

Залишки миючих засобів видаляють з поверхні апарату очищеною водою від ДР 1.2 при тискові 0,5 МПа за допомогою гідромонітору Г-13А. Змивні води ідуть на утилізацію до ЗВ 15.2.

1.6.3. Перевірка герметичності

Герметичність перевіряють за допомогою галогенідних течешукачів. У досліджуваній апарат під тиском 0,2 МПа закачують нагрітий до 80 °С леткий газ, що містить в своєму складі галоген (чотирихлористий вуглець). Пари галогенвмісної речовини проникають через наявні витіки і виявляються щупом течешукача. Перевірка триває 1,5-2 години. Після неї відпрацьований газ йде на переробку до ПВ 14.2.

1.6.4. Стерилізація обладнання та комунікацій

Стерилізацію проводять гострою водяною парою за температури 135 °С та тиска 0,6 МПа впродовж 1 години. Утворений конденсат направляють до ЗВ 15.2. По завершенню перевіряють мікробіологічну чистоту.

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

ДР 2. Підготовка теплоносіїв

Підготовка холодного і гарячого теплоносіїв перед початком процесу виробництва біоетанолу є важливою для забезпечення оптимальних умов протікання біохімічних реакцій, підтримки стабільності процесу, економії енергії, гарантування безпеки та отримання якісного продукту.

ДР 2.1. Підготовка холодного теплоносія

В сорочку теплообмінника ТО-10 подається холодоагент, а в середину очищена вода від ДР 1.2 через магістральний трубопровід Т 1.4. Після охолодження до 15°C, вода подається в магістральний трубопровід Т 1.2 та використовується на стадіях ДР 3.4, ДР 6.4, ДР 7, ДР 8.2, ТП 9 в теплообмінних сорочках для охолодження вмісту апаратів. Подача води здійснюється через насос Н-11. Контролюють температуру.

ДР 2.2. Підготовка гарячого теплоносія

В теплообмінниках ТО-12 при атмосферному тиску нагрівають воду до температури 50-100 °C і подають в трубопровід Т 1.1 за допомогою насоса Н-13. Температура теплоносія визначається його подальшим використанням в технологічному процесі. Воду з температурою 50 °C використовують для забезпечення оптимальних умов для роботи ферментів на ДР 4.3; з температурою 75 °C направляють до ДР 4.2 для прискорення розчинення лігніну; з температурою близькою до 100 °C – до ДР 5.2, ДР 6.3, ДР 8.1, де проводять стерилізацію термолабільних компонентів поживних середовища. Контролюють температуру.

ДР 3. Підготовка повітря

Для аерації поживного середовища при вирощування посівного матеріалу та вентиляції виробничих приміщень потрібно підготовлювати та стерилізувати повітря на фільтрах відповідним чином.

ДР 3.1. Забір повітря

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49

Атмосферне повітря забирають за допомогою повітрозбірника ПЗ-14, після чого транспортують через забірну шахту висотою 15-20 метрів.

ДР 3.2. Попередня очистка повітря від механічних часток

Повітря від ДР 2.1. спочатку проходить попереднє очищення від часток більших за 10 мкм, далі на основному фільтрові коміркового типу Ф-15 видаляються частинки розміром понад 5 мкм.

ДР 3.3. Компресування повітря

Повітря перекачують компресором КВ-16. При цьому відбувається його стискання до тиску 0,35 МПа та нагрів до 120-200 °С.

ДР 3.4. Стабілізація термодинамічних показників повітря

В теплообміннику ТО-16 повітря охолоджують до 30 °С. При цьому, конденсат, який виділився йде на утилізацію до ЗВ 15.2. Вміст вологи в повітрі на виході дорівнює 50%, тиск складає 0,3 МПа.

ДР 3.5. Стерилізація повітря

Стабілізоване повітря проходить стерилізацію на фільтрах тонкої очистки Ф-19 та Ф-20, ефективність яких рівна 99,9999%. Періодично проводять перевірку мікробіологічної чистоти в приладові Кротова. Далі повітрям можна аерувати поживне середовище в інокуляторів на ДР 7 та виробничі приміщення.

ДР 4. Підготовка сировини

Подрібнену сировину попередньо оброблюють розчином лугу, який готують безпосередньо перед початком обробки, а далі піддають ферментативному гідролізу.

ДР 4.1. Приготування розчину карбонату натрія

Кристали карбонату натрію через дозатор Д-21 подають у реактор з механічним перемішуючим пристроєм Р-22, де він розчиняється у відповідній кількості

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		50

очищеної води з магістрального трубопроводу Т 1.4 при безперервному перемішуванні в режимі 40 об/хв.

ДР 4.2. Попередня обробка сировини

Солому-січку, яка має довжину частинок кілька міліметрів, оброблюють 11% розчином карбонату натрія за температури 75 °С протягом 85 хв. По завершенню процесу гідролізат, який має в своєму складові близько 70,4% лігніну відправляють до ЗВ 15.2. Теплоносій регенерується в ПВ 14.1.

ДР 4.3. Ферментативний гідроліз

Спочатку, звільнену від лігніну сировину, нейтралізують ортофосфорною кислотою і доводять рівень рН до 4,8. Нагрівають середовище до 50 °С та вносять ферментний препарат Accellerase® 1500. Доза препарату складає 0,05 мл на грам біомаси. Обробка триває 24 години. Про якісь проходження гідролізу свідчить хімічний контроль вмісту. Цукровмісний гідролізат видаляють з середовища і перекачують до ДР 8.1. Тверді органічні відходи йдуть на утилізацію до ЗВ 15.1. Теплоносій регенерується в ПВ 14.1.

ДР 5. Підготовка піногасника

ДР 5.1. Емульгування піногасника

Емульсію піногасника готують змішуючи пропінол Б400 з питною водою від ДР 1.2 протягом 1 год при обертанні мішалки з частотою 500 об/хв.

ДР 5.2. Стерилізація піногасника

Стерилізація піногасника проводиться глухою парою, яку подають в сорочку апарата при температурі 120°С і надлишковому тиску 0,3 МПа протягом 1 години. Проводять технічний контроль процесу.

ДР 5.3. Охолодження піногасника

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

Піногасник охолоджують до 30 °С і перекачують в інокулятор І-43 та, за потреби, в бродильний апарат. Відпрацьований теплоносій йде на регенерацію до ПВ 14.1. Проводять мікробіологічний контроль процесу.

ДР 6. Підготовка поживного середовища для накопичення посівного матеріалу

Термостабільні та термолабільні компоненти поживного середовища розчиняються у відповідній кількості води та проходять роздільну стерилізацію за відповідного температурного режиму. По завершенню компоненти середовища змішують і охолоджують.

ДР 6.1. Гомогенізація і стерилізація розчину мінеральних солей.

Мінеральні солі, які є джерелами мікроелементів, азотного та фосфатного живлення зважують на дозаторі Д-32 та розчиняють у відповідній кількості очищеної води за такою рецептурою:

KH_2PO_4 – 5,4 г/л

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 8,5 г/л

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,7 г/л

CaCl_2 – 0,7 г/л

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,009 г/л

$\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 0,0025 г/л

Розчин стерилізують глухою парою за температури 120 °С та тиску 0,3 МПа, режим перемішування 1 с⁻¹, а час обробки 60 хв. Контролюють температуру. Відпрацьований теплоносій йде на регенерацію до ПВ 14.1.

ДР 6.2. Приготування і стерилізація розчину ортофосфатної кислоти

Кристали ортофосфатної кислоти через дозатор Д-35 подають у реактор з механічним перемішувачем Р-36, де вони розчиняються у відповідній

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

кількості очищеної води з магістрального трубопроводу Т 1.4. Розчин стерилізують глухою парою за температури 120 °С та тиску 0,3 МПа, режим перемішування 1 с⁻¹, а час обробки 60 хв. Контролюють температуру. Відпрацьований теплоносій йде на регенерацію до ПВ 14.1.

ДР 6.3. Гомогенізація і стерилізація сусла

Концентрат сусла розводять водою в реакторі з механічним перемішувачем пристроєм Р-42 та стерилізують при температурі близькій до 100 °С протягом 30 хв. Контролюють температуру. Відпрацьований теплоносій йде на регенерацію до ПВ 14.1.

ДР 6.4. Охолодження поживного середовища

Всі компоненти поживного середовища змішують та охолоджують до 30 °С. Попередньо перевіривши мікробіологічну чистоту середовища, його перекачують насосом Н-41 в інокулятор І-46. Відпрацьований теплоносій йде на регенерацію до ПВ 14.1.

ДР 7. Накопичення біомаси дріжджів

Стерильне поживне середовище в інокуляторі І-46 засівають чистою культурою, яку закупають в лабораторіях. Це дає значно пришвидшити процес, адже не потрібно проводити відновлення музейної культури, а можна відразу почати накопичення посівного матеріалу. Забезпечують оптимальні умови для росту біологічного агента: температура 30 °С, аерація = 60 м³/год, рН = 4,5, швидкість перемішування 1 с⁻¹. Процес триває 48 годин. Здійснюють контроль температури, рН, витрату кисню, а також перевіряють на відсутність мікробної контамінації.

Для запобігання контамінації в процесі накопичення біомаси дріжджів можна разом з поживним середовищем вносити ортофосфорну кислоту. Після її додавання знижують інтенсивність аерації до 15-40 м³/годину та витримують середовище 20-60 хвилин при такій аерації (рН середовища буде рівним 3,0-3,5 од.). Теплоносій,

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53

яким здійснюється підігрів, іде на регенерацію до ПВ 14.1. Відпрацьоване повітря йде на очистку до ПВ 14.2.

ДР 8. Приготування поживного середовища для зброджування

ДР 8.1. Гомогенізація і стерилізація компонентів поживного середовища

Для приготування поживного середовища використовують гідролізат від ДР 4.3 з вмістом вуглеводів не меншим ніж 25 г/л. в нього вносять мінеральні солі, які є джерелами мікроелементів, азотного та фосфатного живлення за такою рецептурою:

KH_2PO_4 – 5,4 г/л

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - 8,5 г/л

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 0,7 г/л

CaCl_2 - 0,7 г/л

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 0,009 г/л

$\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - 0,0025 г/л

Проводять сумісну стерилізацію поживного середовища при температурі близькій до 100 °С протягом 30 хв, режим перемішування поживного середовища 1 с⁻¹. Відпрацьований теплоносій йде на регенерацію до ПВ 14.1.

ДР 8.1. Охолодження поживного середовища

Поживне середовище охолоджують до 30 °С. Після завершення процесу охолодження проводять перевірку мікробіологічної чистоти. Далі його перекачують насосом Н-51 у ферментер Р-55 для збродження. Відпрацьований теплоносій йде на регенерацію до ПВ 14.1.

ТП 9. Спиртове бродіння

Поживне середовище від ДР 8.2 засівається дріжджами від ДР 7 та рециркульованими дріжджами від ТП10. В ході культивування ретельно контролюють

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

температуру, рН, мікробіологічну чистоту та вміст поживних речовин. рН тримають на рівні 3,5 для додаткового забезпечення асептики та покращення росту дріжджів. Температуру культуральної рідини підтримують на рівні 28-30 °С. Масообмін дуже сильно інтенсифікує процес синтезу етанолу. Обраний режим перемішування 1 c^{-1} . Вуглекислий газ, що утворюється в процесі бродіння утилізують на ЗВ 15.3.

ТП 10. Відділення дріжджів на центрифугі

Зброджена культуральна рідина проходить через центрифугу ($n = 4500-6000$ об/хв), на якій дріжджі відділяються і повертаються у ферментер на ТП 9. Брагу перекачують у ректифікаційний апарат.

ТП 11. Очищення біоетанолу

ТП 11.1. Очищення біоетанолу в бражній колоні

Бражка нагрівається до температури 80 °С та подається на живильну тарілку бражної колоні. Пара подається вниз колоні і піднімається вгору, захоплюючи легкі фракції спирту, до зміцнювальної частини. Конденсування водно-спиртової суміші, що надходить з верхньої тарілки, відбувається в дефлегматорі, яким закінчується колона. Бражка з меншим вмістом спирту разом з низькокиплячими фракціями стікає вниз, перетікає до теплообмінника, де знову нагрівається і повертається в бражну колона. Несконденсовані гази через повітровики видаляються і направляються на знешкодження до ЗВ 11.3.

ТП 11.2. Очищення біоетанолу в ректифікаційній колоні

Конденсат з бражної колоні, в якому вміст спирту складає 20-40%, поступає на живильну тарілку ректифікаційної колоні. Принцип роботи колоні ідентичний до бражної, але в ній досягається більш високий вміст спирту за рахунок звільнення етанолу від ефірів, альдегідів, а також сивушних масел.

ТП 11.3. Очищення біоетанолу в метанольній колоні

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

Спирт-сирець міцністю 94-96% подається на живильну тарілку метанольної колони, де виділяється залишки метанолу (до 0,7%). Далі перегрітий спирт поступає на молекулярні сита для зневоднення.

ТП 12. Зневоднення біоетанолу на молекулярних ситах

На цеолітних молекулярних ситах досягається вміст етанолу в 97,8%, що відповідає біоетанолу марки А. Молекулярні сита регенерується на ПВ 14.3.

ПМВ 13 Пакування і маркування кінцевої продукції

ПМВ 13.1 Денатурація та розлив біоетанолу

Законом заборонено зберігання та транспортування неденатурованого етанолу. Денатурацію проводять додаванням 1-10% бензину через об'ємний дозатор при розливі палива у каністри місткістю 60 л згідно ДСТУ EN 12712:2005 «Каністри пластмасові. Каністри номінальної місткості від 20 дм³ до 60 дм³, розраховані на оптимальне використання піддонів розмірами 800 мм 1200 мм, 1000 мм 1200 мм, 1140 мм 1140 мм».

ПМВ 13.2 Пакування і маркування кінцевої продукції

Каністри відповідним чином маркують: етикетка має містити попереджувальний про горючі здатності знак, вказується строк придатності, дата виготовлення тощо. Далі їх транспортують на склад.

ПВ 14. Переробка відходів

ПВ 14.1. Регенерація теплоносіїв

Відпрацьовані теплоносії від ДР 3.4, ДР 4.2, ДР 4.3, ДР 6.1, ДР 6.2, ДР 6.3, ДР 6.4, ДР 7, ДР 8.1, ДР 8.2, ТП 9 нагріваються або охолоджують до відповідних температур, які потрібні для забезпечення оптимальних умов перебігу стадії технологічного процесу та повертають на ті стадії, від яких вони надійшли.

ПВ 14.2. Очищення газів

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56

Тетрахлорметан від ДР 1.6.3 та повітря від ДР 7 очищують та направляють на повторне використання.

ПВ 14.3. Регенерація молекулярних сит

Молекулярні сита осушують годину за температури 400°C і тиску в 1 Па.

ЗВ 15 Знешкодження відходів

ЗВ 15.1 Знешкодження твердих відходів

Залишки сировини, після проведеного ферментативного гідролізу на ДР 4.3, знешкоджують шляхом спалювання. Зола вивозять на звалище.

ЗВ 15.2 Знешкодження рідких відходів

Рідкі відходи проходять процес нейтралізації (до рН = 7) та знезараження. Далі їх зливають в каналізацію.

ЗВ 15.3 Знешкодження вуглекислого газу

Використане в процесі накопичення дріжджевої біомаси повітря з ДР 5 знезаражують та знову використовують для вентиляції виробничих приміщень. Вуглекислий газ, утворений в процесі спиртового бродіння (з ТП 6), знезаражують, очищують та закачують в балони. Інші газоподібні відходи знешкоджують відповідно до їх фізико-хімічних властивостей.

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

РОЗДІЛ 4. ПІДБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ

4.1. Опис та обґрунтування конструкції бродильного апарата

Основними апаратами в біотехнологічній промисловості є біореактори або ферментери. Ферментери – виготовлені, переважно, із нержавіючої сталі герметичні циліндричні ємності, які конструктивно схожі на хімічні реактори. Їх висота в 2-2,5 разів перевищує діаметр, а робочий об’єм становить не більше 70% від загального геометричного об’єму. Обладнані подвійною сорочкою або теплообмінником типу змійовика для підтримання необхідної температури. Механічні перемішуючі пристрої складаються з центрального валу і лопатей різної форми [25].

Процеси, що відбуваються всередині ферментерів відносять до біологічних систем. Тому вибір, проектування та оптимізація роботи повинні відбуватись виходячи з морфологічних, культуральних та фізіолого-біохімічних ознак біологічного агенту [25].

Анаеробні умови, які обрані на основі фенотипічних особливостей дріжджів, досягаються за рахунок герметизації апаратури та продування середовища інертними газами (зазвичай, утвореними під час ферментації, газоподібними продуктами). Відсутність потреби в аерації середовища полегшує керування процесом і дещо спрощує конструкцію ферментера, адже не потрібно використовувати барботер [25].

Номинальний об’єм апарату складає 100 м^3 за ГОСТ 20680-2002. Стандартний внутрішній діаметр апарату складає $D = 3600 \text{ мм} = 3,6 \text{ м}$, висота апарату складає $H = 10400 \text{ мм} = 10,4 \text{ м}$. Було обрано апарат з еліптичним днищем і еліптичною кришкою, що знімається (тип 0). В якості перемішуючого пристрою було обрано відкриту турбінну мішалку, адже вона здатна забезпечити інтенсивне перемішування в повному об’ємі апарата завдяки радіальним потокам рідини.

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ПІДБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Ламза Г.С.</i>						58	85
<i>Конс.</i>	<i>Саблій Л.А.</i>					<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ</i>		
<i>Керівн.</i>	<i>Козар М.Ю.</i>							
<i>Затверд</i>								

4.2. Технічна характеристика апарата

Дані для розрахунку:

Річне забезпечення в сировині $m_{\text{сиров.}} = 5700$ т

Кількість робочих днів в році – 365 днів

Тривалість збродження $\tau_1 = 20$ годин

Вихід біоетанолу на 1 т соломи складає 293,1 кг або 0,37 м³

Вихід біоетанолу на 1 м³ культуральної рідини $q = 0,08$ кг/м³

Річний обсяг виробництва біоетанолу:

$$Q_{\text{річ.}} = 5700 \cdot 0,37 = 2109 \text{ м}^3$$

Кількість культуральної рідини ($Q_{\text{к.р.}}$), яка необхідна для забезпечення річного обсягу виробництва:

$$Q_{\text{к.р.}} = \frac{Q_{\text{річ.}}}{q} = \frac{2109}{0,08} = 26362,5 \text{ м}^3$$

Нехай кількість посівного матеріалу становить 10% від об'єму культуральної рідини, а поживні речовини – 1%.

Кількість посівного матеріалу, яка необхідна для забезпечення річного обсягу виробництва:

$$Q_{\text{п.м.}} = 0,1 \cdot Q_{\text{к.р.}} = 0,1 \cdot 26362,5 = 2636,3 \text{ м}^3$$

Кількість поживних речовин, яка необхідна для забезпечення річного обсягу виробництва:

$$Q_{\text{п.р.}} = 0,01 \cdot Q_{\text{к.р.}} = 0,01 \cdot 26362,5 = 263,63 \text{ м}^3$$

Річний обсяг гідролізату:

$$\begin{aligned} Q_{\text{гідрол.}} &= Q_{\text{к.р.}} - Q_{\text{п.м.}} - Q_{\text{п.р.}} = \\ &= 26362,5 - 2636,3 - 263,63 = 23462,6 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

									Арк.
									59
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП БЕ01.16.000 ПЗ				

Номінальний об'єм ферментера 100 м^3 . Коефіцієнт заповнення – $0,7$. Визначаємо робочий об'єм ферментера:

$$V_p = V_\phi \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 100 \cdot 0,7 = 70 \text{ м}^3$$

Максимальна кількість робочих годин виробництва на рік складає:

$$\tau_2 = 365 \cdot 24 = 8\,760 \text{ год}$$

Розраховуємо кількість ферментерів для досягнення необхідних обсягів виробництва:

$$N = \frac{Q_{\text{к.р.}} \cdot \tau_1}{V_p \cdot \tau_2} = \frac{26362,5 \cdot 20}{70 \cdot 8760} = 0,85 \approx 1$$

Отже, приймаємо 1 ферментер об'ємом 100 м^3 .

4.3. Конструктивний розрахунок ферментеру

Вихідні дані:

Температура поживного середовища: $t_{\text{пс}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$

Температура в апараті $t = 28 \text{ }^\circ\text{C}$

Початкова температура води: $t_{\text{в}'} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

Кінцева температура води: $t_{\text{в}''} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$

Холодний теплоносій – вода

Номінальний об'єм апарату: $V_{\text{н}} = 100 \text{ м}^3$

Коефіцієнт заповнення: $\varphi_3 = 0,7$

Тривалість культивування: $\tau = 20 \text{ год}$

Відповідно до стандарту діаметр апарату $D = 3600 \text{ мм} = 3,6 \text{ м}$, а висота апарату $H = 10400 \text{ мм} = 10,4 \text{ м}$. Було обрано апарат з еліптичним днищем і еліптичною кришкою, що знімається (тип 0).

										Арк.
										60
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП БЕ01.16.000 ПЗ					

Із стандартного ряду приймаємо значення $d_M = 1120$ мм.

За АТК 24.201.17-90 обираємо мішалку типу 03 (виконання 2).

Висота мішалки:

$$h_M = 0,2 \cdot d_M = 0,2 \cdot 1120 = 224 \text{ мм}$$

Ширина лопаті мішалки:

$$l = 0,25 \cdot d_M = 0,25 \cdot 1120 = 280 \text{ мм}$$

Висота від днища до мішалки:

$$h = 0,4 \cdot d_M = 0,4 \cdot 1120 = 448 \text{ мм}$$

Висота прикріплення мішалки:

$$h = 0,6 \cdot d_M = 0,6 \cdot 1120 = 672 \text{ мм}$$

Ширина перегородки:

$$b = 0,1 \cdot d_M = 0,1 \cdot 1120 = 112 \text{ мм}$$

Окружна швидкість пристрою:

$$\omega = 2,5 \div 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Приймаємо $\omega = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Частота обертання мішалки:

$$n = \frac{\omega}{\pi \cdot d_M} = \frac{3}{3,14 \cdot 1,120} = 0,85 \text{ с}^{-1}$$

Прийmemo стандартне значення частоти обертання мішалки $n = 1,05 \text{ с}^{-1}$

Знаходимо глибину воронки.

Параметр висоти завантаження апарата:

$$\gamma = 8 \cdot \frac{H_p}{D} + 1 = 8 \cdot \frac{7,18}{3,6} + 1 = 16,95$$

Модифікований критерій Рейнольдса:

$$Re_c = \frac{n \cdot d_M^2 \cdot \rho_p}{\mu_p} = \frac{1,05 \cdot 1,120^2 \cdot 1070}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 9,4 \cdot 10^5$$

де ρ_p – густина культуральної рідини в реакторі (1070 кг/м^3); μ_p – коефіцієнт динамічної вязкості ($1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$).

Параметр гідравлічного опору мішалки:

$$E = \frac{\gamma}{\zeta_M \cdot z_M \cdot Re_c^{0,25}} = \frac{16,95}{8,4 \cdot 3 \cdot (9,4 \cdot 10^5)^{0,25}} = 0,022$$

ζ_M – коефіцієнт гідравлічного опору мішалки, для турбінної $\zeta_M = 8,4$

В апараті для забезпечення рівномірного перемішування встановлюємо кількість мішалок z_M із розрахунку 1 мішалка на кожні 20 м³.

Кількість мішалок:

$$z_M = \frac{V_p}{20} = \frac{70}{3} = 3,5 \approx 3$$

$\xi_M = 8,4$ – коефіцієнт гідравлічного опору мішалки, $z_M = 3$

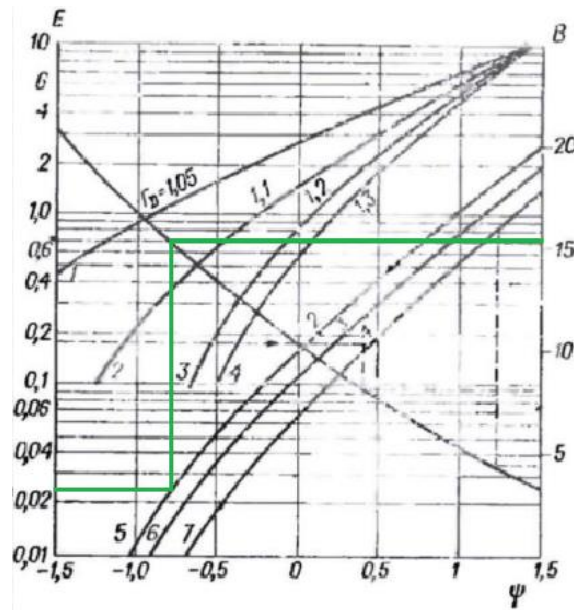


Рис. 4.4.1 Номограма до розрахунку глибини воронки: 1,2,3,4 – мішалки якорні і рамні; 5,6,7 – турбінні, трьох і двухлопастні [27].

$$B = 15$$

Глибину воронки знаходять за формулою:

$$h_B = \frac{Bn^2 d_M^2}{2} = \frac{15 \cdot 1,05^2 \cdot 1,120^2}{2} = 10,37 \text{ м}$$

Гранично допустима глибина воронки:

$$h_{гр} = H_p - h = 7,18 - 0,448 = 6,732 \text{ м}$$

h – висота від днища до мішалки:

$h_B > h_{гр}$, отже потрібно встановити 4 перегородки

Потужність, що витрачається на перемішування, визначають за такою формулою:

$$N_p = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_M^5$$

де K_N – критерій потужності, що залежить від інтенсивності перемішування і характеризується центробіжним критерієм Рейнольдса:

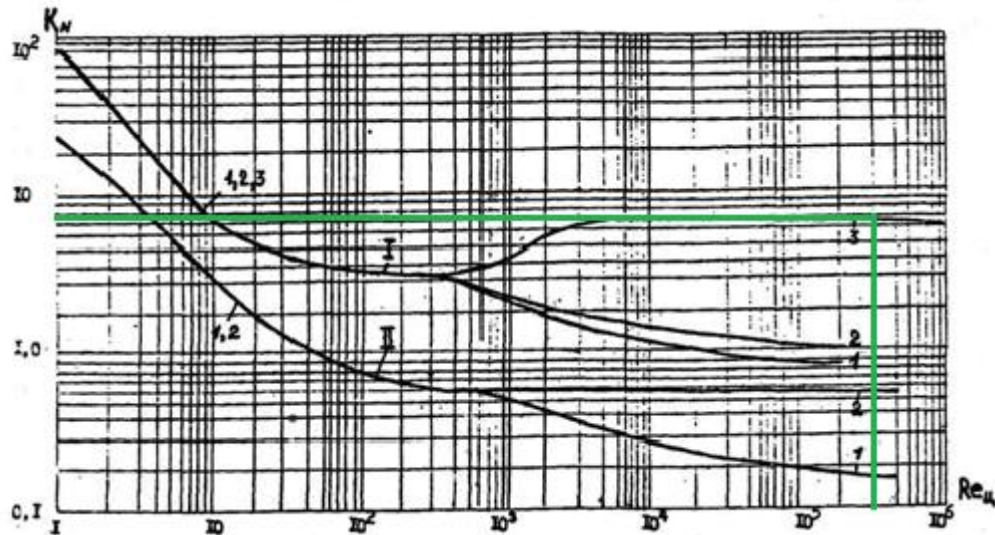


Рис. 4.4.2 Число $K_N = f(Re_{ц})$: I – турбінна мішалка при $\zeta_M = 8,4$; 1 – апарат без перегородки $z_D = 3$; 2 – без перегородки $z_D = 4$; 3 – апарат з перегородкою $z_D = 3-4$ [27].

За графіком нормалі знаходимо значення $K_N = f(Re_{ц})$:

$$K_N = 8$$

Тоді потужність, що споживається, становить:

$$N_M = 8 \cdot 1070 \cdot 1,05^3 \cdot 1,12^5 = 17,5 \text{ кВт}$$

Потужність для подолання тертя у торцевому ущільненні:

$$N_{ущ} = 6020 \cdot d_B^{1,3} = 6020 \cdot 0,155^{1,3} = 533,4 \text{ Вт}$$

Діаметр вала мішалки:

$$d_B = C \cdot d_M = 0,117 \cdot 900 = 131,04 \text{ мм}$$

Для турбінної мішалки приймаємо $C = 0,117$.

Зі стандартного ряду обираємо $d_B = 155 \text{ мм}$

Коефіцієнт висоти рівня рідини:

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Кількість теплоти, що знаходить у ферментер, визначається за формулою:

$$q_{\text{надх.}} = q_1 + q_2 + q_3 = 7104 + 2214 + 27802 = 37120 \text{ МДж}$$

q_5 – кількість теплоти, що відводиться із апарату продуктами біосинтезу:

$$q_5 = q_1 = 7104 \text{ МДж}$$

q_6 – втрати в навколишнє середовище:

$$q_6 = 0,1 \cdot q_{\text{надх.}} = 0,1 \cdot 37120 = 3712 \text{ МДж}$$

Кількість теплоти, що необхідно відводити теплоносієм знаходимо за формулою:

$$q_7 = q_{\text{надх.}} - q_5 - q_6 = 37120 - 7104 - 3712 = 26304 \text{ МДж}$$

Теплове навантаження теплообмінних пристроїв ферментера знаходимо за формулою:

$$q_7 = M_B \cdot c_B \cdot (t'_B - t''_B)$$

Звідки:

$$M_B = \frac{q_7}{c_B \cdot \Delta t_B} = \frac{26304 \cdot 10^6}{4174 \cdot 20} = 3,15 \cdot 10^5 \text{ кг}$$

де $c_T = 4174 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ – питома теплоємність теплоносія, $\Delta t_B = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ – різниця між початковою та кінцевою температурами теплоносія

Масові витрати теплоносія:

$$G_B = \frac{M_B}{\tau} = \frac{3,15 \cdot 10^5}{72000} = 4,38 \text{ кг/с}$$

$$\tau = 20 \text{ год} = 72000 \text{ с}$$

Критерій Нуссельта визначаємо з критеріального рівняння:

$$Nu_c = C \cdot Re_c^\alpha \cdot Pr^{0,33}$$

$$C = 1,35 \quad \alpha = 0,59$$

Критерій Прандтля:

$$Pr_c = \frac{\mu_c \cdot c_c}{\lambda_c} = \frac{1,0849 \cdot 10^{-3} \cdot 3919}{0,44} = 9,66$$

$$Nu_c = 1,35 \cdot (9,4 \cdot 10^5)^{0,59} \cdot 9,66^{0,33} = 9539$$

$$Re_c = 9,4 \cdot 10^5$$

Коефіцієнт тепловіддачі від культуральної рідини у ферментері становить:

4.6. Вибір загальнозаводського обладнання

Розрахунок насоса подачі теплоносія

Потужність, що витрачається на перекачування води:

$$N_n = G_{\text{вод}} \cdot H \cdot g \cdot \rho_0 = 4,38 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 9,81 \cdot 998,2 = 0,54 \text{ кВт},$$

де $G_{\text{вод}}$ – витрати води для відводу тепла, кг/м^3 , g – прискорення вільного падіння, м/с^2 , ρ_0 – густина води за $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, H приймаємо 12,5 м.

Потужність електродвигуна:

$$N_e = \frac{N_n}{\eta \cdot \eta_{\text{пер}}} = \frac{0,54}{0,3 \cdot 1} = 1,8 \text{ кВт}$$

де, $\eta = 0,3$ – ККД насоса, $\eta_{\text{пер}} = 1$ – коефіцієнт корисної дії передачі.

Відповідно до розрахованих значень, обираємо електронасос центробіжний герметичний типу ЦГ 12,5/12,5 потужністю 3 кВт.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

5.1. Охорона праці та техніка безпеки

Охорона праці є важливим аспектом будь-якого біотехнологічного підприємства. Її складовими частинами є законодавчі акти і відповідні до них соціально-економічні, технічні, гігієнічні та організаційні заходи, що спрямовані на забезпечення безпеки, збереження здоров'я та працездатності працівників у процесі виробництва [28].

Безпека при експлуатації систем під тиском

Вимоги безпеки до водогрійних і парових котлів різняться залежно від їх об'ємів, сфери застосування та фізичних параметрів (температури і тиску) води та пари. За параметрами пари та води котли класифікуються на дві групи:

1. Парові котли з надлишковим тиском понад 0,07 МПа та водогрійні котли з температурою води понад 115°C.
2. Парові котли з надлишковим тиском до 0,07 МПа та водогрійні котли з температурою води, що не перевищує 115°C.

Вимоги безпеки щодо конструкції, проектування, виготовлення, монтажу, налагодження, реконструкції, ремонту і експлуатації котлів першої групи регламентуються нормативним документом НПАОП 0.00-1.60-66 «Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів» [27].

Для попередження понаднормового підвищення тиску в елементах котла встановлюють не менше ніж два запобіжні клапани (важільно-вантажні чи пружинні). При тиску понад 4 МПа повинні бути імпульсні запобіжні клапани. Також парові і водогрійні котли, відповідно до вимог, мають оснащатися манометрами, покажчиками рівня води, термометрами чи термопарами для вимірювання температури теплоносія і елементів котла, запірною і регулюючою арматурою, живиль-

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Ламза Г.С.</i>						69	85
<i>Конс.</i>	<i>Саблій Л.А.</i>							
<i>Керівн.</i>	<i>Козар М.Ю.</i>					<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ</i>		
<i>Затверд</i>								

ними пристроями та приладами безпеки при небезпечному відхиленні режимів експлуатації котла від розрахункових [27].

Температура поверхні котлів у зоні потенційного перебування робітників не більше 55°C. При перевищенні температури здійснюється теплоізоляція або огороження цих елементів. Приміщення з котлами має гарно освітлюватись (мати природне та штучне робоче і аварійне освітлення) [27].

Захист від шуму та вібрацій

Масивні насоси та електродвигуни створюють значний рівень шуму, який не вписується в допустимі значення, які наведені в ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Щоб забезпечити максимальну звукоізоляцію слід вдатися до таких заходів:

1. Використання багатошарових конструкцій з легкого волокнистого матеріалу забезпечує ефективне поглинання звуку.
2. Зміна жорсткості конструкцій за рахунок підвищення внутрішнього тертя в конструкції досягається використанням відповідного матеріалу огороження або нанесенням віброзахисного шару.
3. Ліквідація щілин за рахунок герметизації місць з'єднання різних конструкцій, щоб уникнути витоку звуку.
4. Ущільнення притворів та встановлення тамбурів біля дверей допомагають знизити проникнення звуку.
5. Важливо вживати заходів для зниження непрямої передачі звуку через конструкції будівлі [27].

Освітленість

Головне завдання освітлення – створення оптимальних умов для коректної роботи органів зору. Освітлення на робочих місцях повинно відповідати нормам освітленості робочих місць згідно з ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» і бути не менш 30 лк.

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		70

Щоб забезпечити правильне освітлення потрібно керуватись наступними правилами:

1. Робоча поверхня та навколишній простір повинні бути рівномірно освітленими (мерехтіння не допускається, адже воно викликає втому очей).
2. При роботі з малими об'єктами і темним фоном потрібне більше освітлення.
3. Сліпучі відблиски мають бути відсутніми в полі зору для уникнення засліплення. Їх можна уникнути знизивши яскравість джерел світла та змінивши напрям та кут падіння променів.
4. Спектральний склад штучного світла є максимально наближеним до природнього і забезпечує правильну передачу кольору.
5. Освітлення повинно бути надійним, простим в експлуатації та економічним.
6. Важливо, щоб джерела світла, які використовуються на робочих місцях, відповідали вимогам безпеки та не становили загрози для здоров'я та життя людей [27].

Електробезпека

Несправність електричних приладів може становити серйозну загрозу для здоров'я людини. ДНАОП 1.1.1011.07101 «Правила експлуатації електрозахисних засобів» містить перелік засобів захисту, вимоги до їх конструкції, обсяги і норми випробувань, а також порядок застосування, зберігання та комплектування засобами захисту електроустановок і виробничих бригад. Для підвищення рівня електробезпеки слід застосовувати в комбінації наступні технічні засоби і заходи:

- 1) ізолювання провідників струму;
- 2) застосування малих напруг та вирівнювання потенціалів;
- 3) замикання ємнісних струмів на землю;
- 4) обладнання електричних щитків запобіжниками;
- 5) захисне розділення електромереж тощо [31].

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		71

мів і газових шкідливих домішок здійснюється за допомогою п'яти основних хіміко-технологічних методів: абсорбції, адсорбції, хемосорбції (хімічного перетворення), термічної нейтралізації та каталізації. На основі цих методів розроблено велику кількість пристроїв і апаратів, які при комплексному використанні забезпечують високоефективне очищення пилогазових викидів. Для економії виробничих площ ці пристрої та апарати зазвичай розміщують у верхніх ярусах цехового простору [28].

Технологічний процес виробництва біоетанолу пов'язаний зі значним споживанням води, яка забруднюється мікроорганізмами, мінеральними солями та органічними компонентами. У стічних водах знаходяться як розчинні, так і нерозчинні речовини [28].

Існує кілька методів очищення стічних вод:

Механічне очищення: на решітках, ситах, гідроциклонах, відстійниках, піщаних та сітчастих фільтрах для видалення нерозчинних завислих речовин.

Хімічне очищення: до стічних вод додають реактиви, які сприяють нейтралізації, осадженню домішок або виділенню газів.

Фізико-хімічне очищення: представлене процесами коагуляції, флокуляції, сорбції, флотації тощо. Для коагуляції застосовується сульфат алюмінію, а сорбція часто виконується за допомогою активованого вугілля.

Біологічне очищення: базується на утилізації мікроорганізмами органічних речовин, що містяться в стічних водах.

Перелічені методи зазвичай застосовуються послідовно та в купі, що дозволяє ефективно очищувати стічні води від різноманітних забруднень, забезпечуючи збереження навколишнього середовища [28].

ВИСНОВКИ

1. Було обґрунтовано вибір технології виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини з використанням ферментного гідролізу, описано основні характеристики соломи пшениці, як перспективної сировини для виробництва біоетанолу та обрано штам *Saccharomyces cerevisiae* Cellux™4 в ролі біологічного агенту.
2. Наведено метаболічні реакції процесу біосинтезу етанолу.
3. Здійснено технологічні розрахунки, вибір підходящого обладнання та наведення його характеристик. Розраховано матеріальний баланс процесу.
4. Розроблено та накреслено технологічну та апаратурну схеми виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини. Також накреслено ферментер для виробничого біосинтезу етанолу.
5. Наведено основні вимоги з охорони праці та захисту довкілля при виробництві біоетанолу.

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ламза Г.С.</i>			<i>ВИСНОВКИ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Конс.</i>		<i>Саблій Л.А.</i>					74	85
<i>Керівн.</i>		<i>Козар М.Ю.</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ</i>		
<i>Затверд</i>								

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Current Challenges in Energy. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bbvaopenmind.com/en/articles/current-challenges-in-energy/>
2. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
3. Виробництво біоетанолу в Україні: стан і перспективи розвитку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://milkua.info/uk/post/virobnictvo-bioetanolu-v-ukraini-stan-i-perspektivi-rozvitku>
4. Bioethanol Production from Lignocellulosic Biomass—Challenges and Solutions. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9785513/>
5. Н.Б.Голуб, О.Я.Боровик Переробка біомаси, Київ – Комп’ютерпрес, 2014. С.169
6. Високоєфективні засоби приготування біопалива / О. Є. Колосов, Г. Л. Рябцев, В. І. Сівецький, Д. Е. Сідоров, С. О. Пристайлов. – К. : Січкара, 2010. – 152 с.
7. Біоенергетика : підручник для студ. спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» / К. О. Щурська, Є. В. Кузьмінський ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 304 с.
8. Голуб Г.А., Дубровін В.О., Кухарець С.М., Шубенко В.О., Драгнев С.В., Поліщук В.М. Техніко-технологічні особливості використання соломи при прямому спалюванні.
9. Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and Its Separation and Purification: A Review. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6233010/>

					ДП БЕ01.16.000 ПЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.	Ламза Г.С.									75	85	
Конс.	Саблій Л.А.							<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ</i>				
Керівн.	Козар М.Ю.											
Затверд												

10. Біоетанол як альтернативне поновлювальне джерело енергії. К.А. Ларченко, Б.В. Моргун.
11. Жнива-2023: В Україні зібрано понад 67 млн тонн зернових та олійних культур. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kmu.gov.ua/news/zhnyva-2023-v-ukraini-zibrano-ponad-67-mln-tonn-zernovykh-ta-oliinykh-kultur>
12. Pretreatments Applied to Wheat Straw to Obtain Bioethanol. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/4/1612>
13. Технологія гідролізного виробництва. Лабораторний практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології технології переробки деревини та рослинної сировини»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Р.І. Черьопкіна. – Електронні текстові дані (1 файл: 813 КБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 46 с.
14. Current Ethanol Production Requirements for the Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.hindawi.com/journals/ijmicro/2022/7878830/>
15. Effective Fermentation of Sugarcane Bagasse Whole Slurries Using Robust Xylose-Sarable *Saccharomyces cerevisiae*. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-023-10577-8>
16. Мікробіологія харчових продуктів. Лабораторний практикум для студ. на-пряму підготовки 6.051701 "Харчові технології та інженерія" ден. та заоч. форм навчання / Уклад.: С.М. Тетеріна, Н.М.Грегірчак. – К.: НУХТ, 2013. – 97 с.
17. Дріжджі. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.
18. В.О. Маринченко, П.Л. Шиян Технологія галузі. „Технологія спиртового і лікєро-горілчаного виробництв” : Курс лекцій для студентів спеціальності

ДОДАТОК А

ДОДАТОК А

Специфікація обладнання

Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Маса, кг	Примітка
Н-1, Н-3		Насос для транспортування води, відцентровий горизонтальний консольний	2		Збірний
ГФ-2		Фільтр грубої очистки	1		Збірний
УЗО-4		Установка зворотнього осмосу	1		Збірний
К-5		Котел високого тиску для підготовки пари	1		
Д-6, Д-8		Об'ємно-ваговий дозатор для компонентів миючих і дезінфікуючих розчинів	2		
Р-7	ВМ	Реактор для приготування розчину Біомой, місткість 5 м ³ , D = 1800 мм, коефіцієнт заповнення 0,7, завантаження через дозатор, нижній злив, механічне перемішування лопатевою мішалкою, працює при атмосферному або підвищеному тиску потужність електродвигуна з редуктором 20 кВт, частота обертання вала мішалки 40-50 об/хв.	1		Неірж. сталь 12Х18Н 10Т
Р-9	ВМ	Реактор для приготування розчину каустичної соди, місткість 5 м ³ , D = 1800 мм, коефіцієнт заповнення 0,7, завантаження через дозатор, нижній злив, механічне перемішування лопатевою мішалкою, працює при атмосферному або підвищеному тиску потужність електродвигуна з редуктором 20 кВт, частота обертання вала мішалки 40-50 об/хв.	1		Неірж. сталь 12Х18Н 10Т

					<i>ДП БЕ01.16.000 ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Ламза Г.С.				Літ.	Арк.	Аркушів
Конс.						79	85
Керівн.	Козар М.Ю.				<i>ДОДАТОК А</i>		
Затверд					<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ</i>		

ТО-10, ТО-12		Теплообмінник для підготовки теплоносія	2		Неірж. сталь 12Х18Н 10Т
Н-11, Н-13		Насос для транспортування води, відцентровий горизонтальний консольний	2		Збірний
ПЗ-14		Повітрозабірник, висота труби 10 м, діаметр труби 300 мм	1		
Ф-15	ФЯР тип Рекка	Фільтр попереднього очищення повітря запиленістю до 5 мг/м ³ . Неперервної дії коміркового типу заповнений 12 металічними гофрованими сітками, що змащені маслом. Пилоємність фільтру 200г/м ² . Ефективність очистки 85%. Питома продуктивність 3000 м ³ /м ² год. Гідрравлічний опір – 40 Па. Цикл роботи до регенерації – 70 год.	1		Збірний
КВ-16	900-31-2	Компресор повітряний. Продуктивність 970 м ³ повітря/хв. Тиск на виході 0,34 МПа. Потужність електродвигуна 3500 кВт. Температура повітря на виході до 200°С.	1		Збірний
ТО-17		Теплообмінник для охолодження повітря	1		
РС-18		Ресивер об'ємом 5 м ³ . Всередині змонтовані відбійні пластини. Видалення конденсату та масляної емульсії через нижній злив. Стерилізація парою з відведенням конденсату через конденсатовідвідник.	1		Неірж. сталь 12Х18Н 10Т
Ф-19, Ф-20		Головний фільтр глибинного типу з сорочкою. Стерилізація парою. Об'єм 5 м ³ . Фільтруючий матеріал скловата з діаметром волокна 7-21 мкм. Діаметр пор 21 мкм. Щільність пакування фільтрувального матеріалу 1 кг/м ³ , термостійкість 450°С, швидкість руху повітря 0,01м/с. Гідрравлічний опір 7 Па, ефективність очищення – 76,5%.	2		Збірний

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ДП БЕ01.16.000 ПЗ

Арк.

80

Н-43		Насос для подачі поживного середовища в інокулятор	1		Неірж. сталь 12Х18Н 10Т
Ф-46		Індивідуальний фільтр ферментеру для стерилізації (тонкої очистки) аераційного повітря. Продуктивність 60-1000 м ³ /год Площа поверхні фільтрування 1-10 м ² . Ефективність очистки 99,9999%.	1		
І-47		Інокулятор об'ємом 10 м ³ з нижнім зливом. З еліптичними кришкою та днищем, з суцільною сорочкою, коефіцієнт заповнення 0,7. Облаштований відкритою турбінною мішалкою та барботером. Потужність електродвигуна з редуктором 5 кВт, частота обертання вала мішалки 1 с ⁻¹ .	1		Неірж. сталь 12Х18Н 10Т
Н-48		Насос для подачі суспензії дріжджів до виробничого ферментеру	1		
Р-51		Реактор для приготування поживного середовища для зброджування. Місткість 100 м ³ . Внутрішній діаметр – 3600 мм. Коефіцієнт заповнення – 0,7. Перемішування механічне, пропелерною мішалкою, потужність електродвигуна з редуктором 6,7 кВт, частота обертання мішалки 1 с ⁻¹	1		Неірж. сталь 12Х18Н 10Т
Р-56	ВЕЕ	Виробничий ферментер. Місткість 100 м ³ . Внутрішній діаметр – 3600 мм. З еліптичним днищем та кришкою. Коефіцієнт заповнення – 0,7. Перемішування механічне, відкритою турбінною мішалкою, потужність електродвигуна з редуктором 30,7 кВт, частота обертання мішалки 1,05с ⁻¹ . Пароводяна секційна сорочка.	1		Неірж. сталь 12Х18Н 10Т
Н-57		Насос для подачі браги	1		
Ц-58		Центрифуга безперервної дії з шнековим вивантаженням осаду. Продуктивність 35 м ³ /год. Швидкість центрифуги 6000 об/хв.	1		Неірж. сталь 12Х18Н 10Т

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ДП БЕ01.16.000 ПЗ

Арк.

83

