

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ

(підпис)

«___» _____ 2021р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»
спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»
на тему: «Отримання біоетанолу за допомогою *Zymomonas mobilis*»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи БЕ-71

Романюк Ольга Миколаївна _____

Керівник:

Доц., к.т.н.

Козар Марина Юріївна _____

Консультант з проєктування:

Проф., д.т.н.

Саблій Лариса Андріївна _____

Рецензент:

Доц., к.т.н.

Поліщук Валентина Юріївна _____

Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

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

Факультет біотехнології та біотехніки
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»
Освітньо-професійна програма «Біотехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ
(підпис) (ім'я, прізвище)

«___» _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Романюк Ользі Миколаївні

1. Тема проекту «Отримання біоетанолу за допомогою *Zytoponas mobilis*», керівник проекту доцент к.т.н Козар М.Ю., затверджені наказом університету від «___» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проекту _____
3. Вихідні дані до проекту: сировина – відходи кукурудзяної промисловості; кількість біоетанолу, отриманого в рік 15 000 т/рік. Спроектувати ферментер для культивування *Zytoponas mobilis*.
4. Зміст пояснювальної записки: характеристика сировини, обґрунтування вибору та аналіз технології отримання біоетанолу, характеристика біологічного агента, біохімічні основи технологічного процесу, характеристика кінцевого продукту, опис технологічного процесу виробництва біоетанолу, контрольні точки виробництва біоетанолу, матеріальний баланс, опис та обґрунтування конструкції для виробничого

культивування спиртових дріжджів, розрахунок ферментеру, заходи з охорони праці та охорони довкілля.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Технологічна схема отримання біоетанолу з відходів кукурудзяної промисловості (A1); Апаратурна схема отримання біоетанолу з відходів кукурудзяної промисловості (A1); Креслення ферментера для культивування *Zyotomonas mobilis* (A1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Графічна частина дипломного проєкту	Д.т.н, проф.. Саблій Л.А.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Літературні дослідження, вибір технології		
2	Підбір продуцента для спиртового бродіння		
3	Розробка апаратурної та технологічної схеми		
4	Розрахунок виробничого обладнання		
5	Розробка креслення апарату		
6	Огляд охорони праці та довкілля при виробництві біоетанолу		
7	Оформлення пояснювальної записки		

Студент

_____ Ольга РОМАНЮК
(підпис)

Керівник

_____ Марина КОЗАР
(підпис)

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт: 74 сторінки, 10 рисунків, 4 таблиці, 51 посилання, 3 креслення формату А1.

Пояснювальна записка складається з вступу, п'яти розділів, висновків і списку використаних джерел та специфікації на обладнання. В роботі обрано та обґрунтовано технологію виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини за допомогою *Zymomonas mobilis*.

В дипломному проєкті наведено характеристику обраної сировини – відходів кукурудзяної промисловості, а також переваги її використання для виробництва біоетанолу. Розраховано матеріальний баланс процесу, наведено та описано технологічну та апаратурну схеми виробництва біоетанолу, описано заходи по охороні праці та довкілля. Розраховано ферментер об'ємом 100 м³ та виконано його креслення формату А1.

БІОЕТАНОЛ, ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНА СИРОВИНА, ФЕРМЕНТАТИВНИЙ ГІДРОЛІЗ, *ZYMONONAS MOBILIS*, ЗБРОДЖУВАННЯ ШЛЯХОМ ЕНТНЕРА-ДУДОРОВА, РЕКТИФІКАЦІЯ, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА

ABSTRACT

Graduation project: 74 pages, 10 figures, 4 tables, 51 references, 3 drawings in A1 format.

The explanatory note consists of an introduction, five sections, conclusions and a list of sources used and a specification for the equipment. The technology of bioethanol production from cellulose-containing raw materials with the help of *Zymomonas mobilis* is selected and substantiated in the work.

The diploma project presents the characteristics of the selected raw materials - waste from the corn industry, as well as the advantages of its use for bioethanol production. The material balance of the process is calculated, the technological and equipment schemes of bioethanol production are given and described, the measures on labor and environmental protection are described. The fermenter with a volume of 100 m³ was calculated and its drawings in A1 format were made.

BIOETHANOL, CELLULOSE RAW MATERIALS, ENZYMATIC
HYDROLYSIS, *ZYMOMONAS MOBILIS*

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ.....	10
1.1 Характеристика сировини – відходи кукурудзяної промисловості..	10
1.2 Обґрунтування вибору технології виробництва біоетанолу	11
1.2.1 Технологія розщеплення молекул целюлози.....	11
1.2.2. Технологія спиртового бродіння.....	13
1.2.3 Технологія ректифікації спирту	15
1.2.4 Технологія зневоднення спирту	17
1.3 Характеристика біологічного агента.....	20
2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	22
2.1 Схема перебігу процесів.....	22
2.1.1 Ферментативний гідроліз сировини.....	23
2.1.2 Біохімія спиртового бродіння.....	24
2.2 Характеристика кінцевого продукту.....	25
3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	29
3.1. Сировина та матеріали	29
3.2. Опис технологічного процесу.....	31
3.3 Контроль виробництва біоетанолу.....	38
3.4 Матеріальний баланс	42

					ЕКБ.БЕ7117.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ		
Розроб.		Романюк О.М.					
Перевір.		Козар М.Ю.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		Козар М.Ю.					
					Літ.	Арк.	Акрюшів
						6	74
					КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ, БЕ-71		

4. ПІДБІР ТА РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ	44
4.1 Вибір обладнання.....	44
4.2. Конструкційний розрахунок	45
4.3 Розрахунок перемішуючого пристрою	46
4.4 Розрахунок геометричних розмірів барботеру	48
4.5 Тепловий розрахунок.....	50
4.6 Вибір загальнозаводського обладнання	54
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	57
5.1 Охорона праці та техніка безпеки	57
5.1.1 Повітря робочої зони	57
5.1.2 Виробниче освітлення	58
5.1.3 Електробезпека.....	58
5.1.4. Пожежна безпека	59
5.1.5 Захист від шуму та вібрацій.....	60
5.2 Охорона довкілля	61
ВИСНОВКИ.....	63
Список використаних джерел.....	65
Додаток А.....	71

ВСТУП

В останні роки все більше уваги приділяється перетворенню біомаси в паливний етанол, який вважається найчистішим рідким біопаливом, що є альтернативою викопному паливу. Зростання екологічних проблем щодо використання та виснаження енергетичних ресурсів разом із зростанням цін та нестабільність ринків нафти стимулювали зростаючий інтерес до використання процесів виробництва біоетанолу. Масштаби його використання з кожним роком збільшуються, удосконалюються вже відомі та з'являються нові технології виробництва біоетанолу.

Варто зазначити, що основною перевагою розширення сфери виробництва біоетанолу є зниження екологічного навантаження на довкілля. Наприклад, біологічна сировина, така як відходи сільського господарства, деревообробної промисловості, не потрапляють на звалища; зменшується забруднення території і водоймищ, а також викиди вихлопних газів в атмосферу.

Для отримання біоетанолу в якості сировини частіше використовують відходи сільськогосподарського виробництва. Враховуючи ресурсний потенціал України, використання відходів кукурудзи є більш економічно вигідним та легкодоступним в більшості регіонів. З кожним роком обсяги виробництва кукурудзи щорічно тільки зростають, відповідно, утворюється більша кількість відходів. Враховуючи це, виникає необхідність винайдення правильного способу їх утилізації.

Використання відходів кукурудзи як сировини для виробництва біоетанолу вимагає попередньої обробки для отримання моноцукрів, які зможуть використовувати *Zyomonas mobilis* для ферментації спирту. Гідроліз є одним з найбільш критичних і обмежуючих швидкість етапів у процесі перетворення целюлозовмісної сировини в етанол.

					ЕКБ.БЕ7117.ДП			
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата				
Розроб.		Романюк О.М.			ВСТУП		Літ.	Арк.
Перевір.		Козар М.Ю.						8
Реценз.							КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-71	
Н. Кантр.								
Затверд.		Козар М.Ю.						

Целюлоза може гідролізуватись до глюкози за допомогою хімічних речовин (переважно кислот) при високих температурах або біологічних катализаторів (ферментів) при відносно низьких температурах. Кислотний гідроліз можна здійснити за короткий час, проте необхідність постійного регулювання температури, тиску, концентрації хімічних речовин та висока вартість утилізації обмежують використання цього процесу.

Мета роботи полягає в виборі та обґрунтуванні технології отримання біоетанолу за допомогою мікроорганізмів *Zygomonas mobilis*.

Актуальність роботи полягає в тому, що джерелом більшої частини енергії є викопне паливо, тому важливим є пошуки альтернативної енергії, отриманої з відновлюваної сировини.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі задачі:

- знайти та проаналізувати інформацію щодо відомих технологій виробництва біоетанолу, сировини для проведення процесу та біологічних агентів;
- вибрати та обґрунтувати технологію виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини за допомогою *Zygomonas mobilis*;
- здійснити технологічні розрахунки та вибрати обладнання для виробництва біоетанолу. Навести характеристику обраного обладнання. Розрахувати матеріальний баланс процесу.
- розробити технологічну та апаратурну схеми виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини;
- навести основні вимоги з охорони праці та охорони довкілля виробництві біоетанолу.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ

1.1 Характеристика сировини – відходи кукурудзяної промисловості

Щорічно обсяги врожаю кукурудзи в Україні становлять близько 20,0 млн т., що також передбачає утворення кукурудзяних відходів. В загальній масі основних частин кукурудзи приблизно 40 – 45% займає зерно, а 55 – 60% - відходи, до яких відносять листя, стрижні качанів, обгортку. Кожного року з виробництва кукурудзи утворюється приблизно 3,0 – 4,0 млн т. відходів [1]. Враховуючи це і те, що обсяги виробництва кукурудзи щорічно тільки зростають, виникає необхідність винайдення правильного способу їх утилізації.

Відходи виробництва кукурудзи, як целюлозовмісна сировина, мають великий потенціал для виробництва біоетанолу в Україні, адже за статистичними даними 2019/2020 року Україна посіла 6 місце серед світових виробників кукурудзи. При цьому обсяг виробництва становив 35,5 млн т зерна (рис 1.1.1).

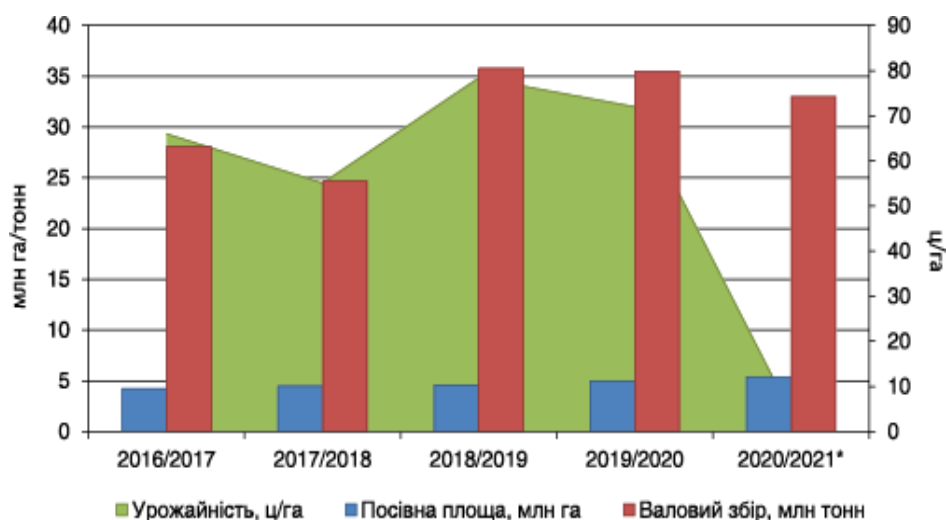


Рисунок 1.1.1 - Динаміка виробництва кукурудзи в Україні у 2016/2017-2020/2021*:

* – прогноз (вересень 2020 року) [2]

					ЕКБ.БЕ7117.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Романюк О.М.			ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ		
Керізн.		Казар М.Ю.					
Реценз.							
Конс.							
Затверд.		Казар М.Ю.					
					Літ.	Арк.	Акресив
						10	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-71		

На вихід біоетанолу впливає якісний та кількісний склад сировини, а особливо наявність целюлози та інших гексозанів, з яких утворюється спирт внаслідок діяльності мікроорганізмів [3].

Важливим також є низький вміст в сировині лігніну та пентозанів, таких як ксилоза та арабіноза, оскільки обрані мікроорганізми не здатні використовувати їх в своєму живленні, на противагу целюлозі та геміцелюлозі. Відходи виробництва кукурудзи містять 32 – 45,5% целюлози, 39-40% - геміцелюлози та 7 – 14% лігніну [4]. Низький вміст лігніну полегшує процес попередньої обробки кукурудзяних відходів для розкладання полісахаридів до їх мономерів.

Окрім того, вихід біоетанолу залежить від технології попередньої обробки сировини та технології її гідролізу до мономерів, оскільки обрані мікроорганізми здатні до ферментації мономерів на етанол.

1.2 Обґрунтування вибору технології виробництва біоетанолу

1.2.1 Технологія розщеплення молекул целюлози

Серед всіх видів біопалива біоетанол є найбільш багатотоннажним продуктом. Традиційно біоетанол отримують в результаті спиртового бродіння (ферментація рослинних цукрів і крохмалю) з подальшою ректифікацією або гідролізним методом.

Як вже зазначалось раніше, отримання етилового спирту в промисловості традиційно відбувається методом ферментації глюкози до спирту у випадку цукровмісної сировини, проте у випадку використання целюлозовмісної сировини необхідним є проведення попереднього гідролізу целюлози (рис 1.1.2).

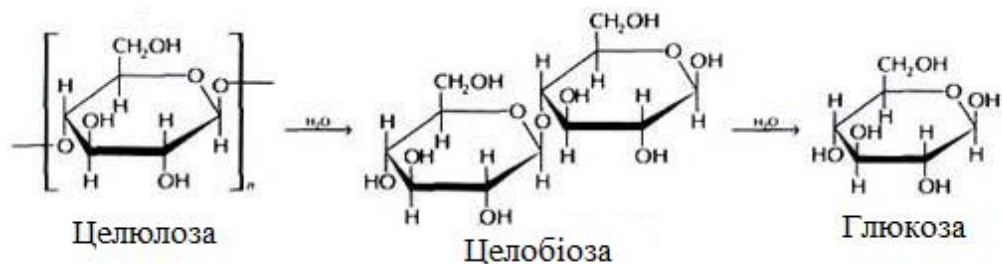
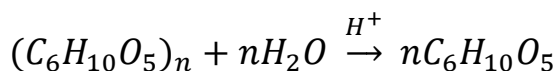


Рисунок 1.2.1 – Схема гідролізу целюлози [5]

Одним з найпоширеніших способів гідролізу целюлози є *хімічний, або кислотний гідроліз*, який відбувається під дією сірчаної кислоти з концентрацією 0,2 – 1% або під дією соляної кислоти концентрацією 59%. Спочатку відбувається послаблення і розрив зв'язків між макромолекулами амілопектину та амілози, що супроводжується порушенням структури целюлози і утворенням гомогенної маси [6].

При подальшому гідролізі крохмалю під дією іонів водню сірчаної або соляної кислоти розриваються α -1,4 та α -1,6 – глікозидні зв'язки. В місці розриву атом водню води з киснем глікозидного моста утворює біля першого атому вуглецю залишку глюкози альдегідну групу в напівацетатній формі [7]. Зі збільшенням кількості розривів підвищується редуруюча здатність гідролізатів. Кислотний гідроліз відбувається при температурі 140 – 145°C, значення рН від 1,8 до 2,2 та надлишковому тиску.

Процес кислотного гідролізу целюлози можна виразити рівнянням [7]:



Другим способом гідролізу целюлози є *ферментативний гідроліз*, який викликає більшу затребуваність серед технологів, тобто його використання стає більш перспективним, в порівнянні з хімічним гідролізом. Перевага полягає в більш швидкому протіканні цього процесу, завдяки дії ферментів на целюлозу. Такими ферментами є α – амілаза та β - амілаза. Процес проводиться при температурі 40 - 50°C [8]. Також особливістю ферментативного гідролізу є специфічність ферментів та відсутність деструкційних перетворень утворених моносахаридів, в порівнянні з методом кислотного гідролізу [9].

Порівнюючи два методи гідролізу целюлози, обираємо метод ферментативного гідролізу з попередньою обробкою сировини. Попередня обробка має на меті виділення лігніну та геміцелюлози, щоб ферменти могли взаємодіяти з целюлозою.

1.2.2. Технологія спиртового бродіння

Стадія спиртового бродіння є однією з найважливіших в процесі виробництва біоетанолу. В спиртовому виробництві застосовують способи *періодичного, циклічного*, а також *безперервного* бродіння, використовуючи для цього батарею з декількох ферментерів [10].

Бродіння *періодичним способом* являє собою зброджування гідролізату в закритій системі в безупинно змінних умовах. Даний спосіб характеризується єдністю місця проходження, циклічністю та безперервною зміною кількості компонентів поживного субстрату, які беруть участь у процесі (цукрів, азотистих речовин, органічних кислот, мікроелементів і т.д.), метаболітів, що утворюються (спиртів, діоксиду вуглецю, органічних кислот тощо), кількості і фізіологічного стану мікроорганізмів, а також деяких фізичних параметрів маси, що зброджується (щільності, в'язкості, температури) [11].

Недоліками періодичного способу бродіння є необхідність контролю кожної стадії виробництва даним способом, а також тривалість процесу (3-4 доби) [10]. В процесі бродіння періодичним способом при поганій тепловіддачі в навколишнє середовище до кінця бродіння спостерігається підвищення температури зброджуваного середовища (пропорційно кількості зброджених цукрів), що може призвести до отримання побічних продуктів і погіршення якості продукції.

Циклічний спосіб бродіння передбачає головне зброджування періодичним способом, а доброджування – періодичним. При циклічному методі бродіння використовують не менше шести бродильних апаратів, з'єднаних між собою передавальними трубами в батарею (рисунок 1.2.2).

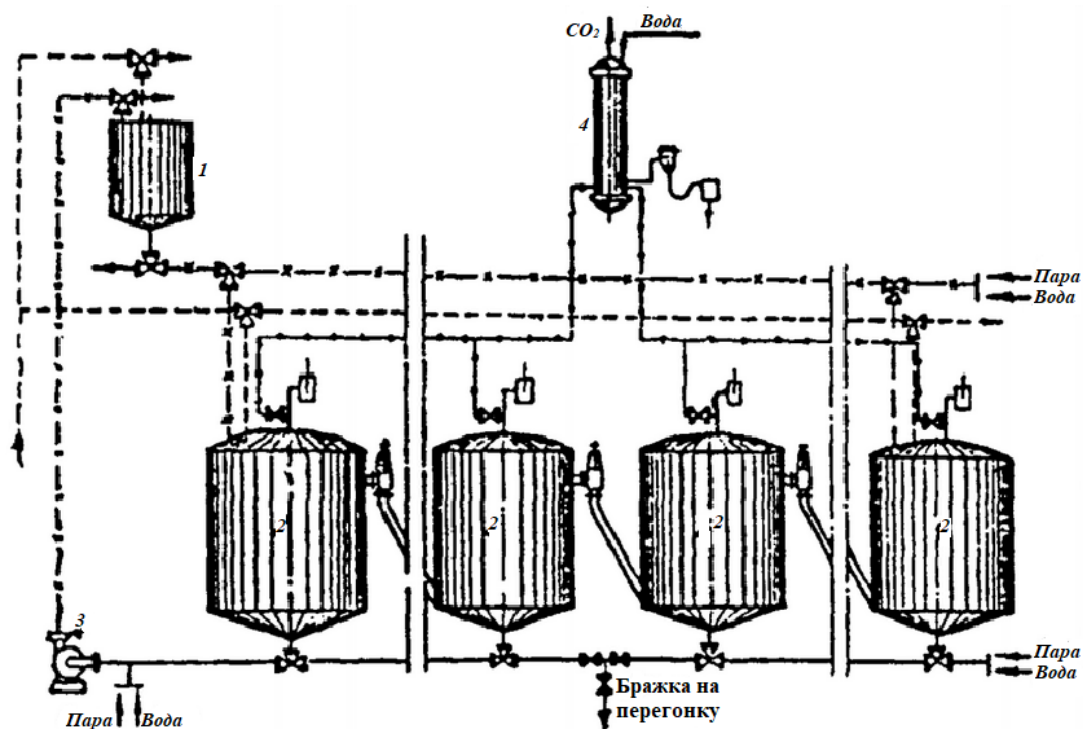


Рисунок 1.2.2 – Схема циклічного способу бродіння [12]

1 – зброджувач; 2 – бродильні апарати; 3 – насос; 4 - спиртоловка

Батарейо апаратів заповнюють окремим циклами: від першого головного до передостаннього в одному циклі; від останнього апарату до другого в наступному циклі. Бродильну масу підводять до першого і до останнього парату батареї. При бродінні в перший апарат батареї вводять біомасу мікроорганізмів, обсяг яких становить 20-25% до ємності апарату, і одночасно подають гідролізат. Заповнивши значну частину обсягу першого бродильного апарату, бродильна маса по передавальних трубах переливається в другий чан, з нього в третій і т.д. Через 20-24 год в перший головний чан знову подають біомасу мікроорганізмів в кількості 20-25% ємності чана. Перед початком заповнення передостаннього чана в головний чан знову (втретє) вносять мікроорганізми. Після заповнення передостаннього чана припиняють подачу сировини в головний (перший) апарат і переводять в останній апарат, який стає головним. За час заповнення останнього апарату гідролізатом бражка в останньому чані остаточно доброджує і її направляють на перегонку [12].

Пустий апарат миють, дезінфікують, пропарюють і заповнюють бражкою з головного апарата. У другому циклі заповнення апаратів бродильною масою

подають від останнього чана до другого. Бражку подають на перегонку послідовно від останнього (по потоку) апарата до першого.

Циклічний метод бродіння дозволяє збільшити продуктивність бродильної стадії приблизно на 25% при тій же ємності чанів, що і при періодичному бродінні.

Безперервний спосіб бродіння відбувається в ферментері, який складається з одного резервуару з перемішуючою системою, яка працює у стаціонарному режимі з постійною подачею субстрату та безперервним вилученням продукту [13]. На практиці ферментер працює з постійною об'ємною пропускною здатністю рідини з такою швидкістю, щоб питома швидкість росту мікроорганізмів не перевищувалась швидкістю розведення. За допомогою належного контролю концентрації та росту клітин можна вибрати та оптимізувати умови ферментації для високої продуктивності перетворення моносахаридів в етанол [14].

Процес спиртового бродіння безперервним способом має ряд переваг, такі як низька тривалість та високий вихід спирту, що робить його використання більш привабливим серед інших відомих методів.

1.2.3 Технологія ректифікації спирту

Технологія ректифікації етилового спирту має на меті отримання спирту з бажаною концентрацією, що супроводжується відділенням головної фракції спирту від побічних продуктів спиртового виробництва. До таких продуктів відносяться сивушні олії, альдегіди, складні ефіри тощо.

Для відділення домішок і зменшення частки води у кінцевому продукті обрано процес ректифікації, як типове рішення на всіх спиртових заводах. Одночасно домішки, що відбираються, повинні бути максимально сконцентровані та звільнені від етилового спирту. В цьому випадку втрати спирту з побічними продуктами будуть мінімальні [15].

Основними параметрами процесу є [16]:

- *Коефіцієнт випаровування:*

$$K = \frac{A}{a'}$$

де A, a' – вміст леткого компонента суміші в парах і в розчині, відповідно, мас. %.

- *Коефіцієнт ректифікації*, який показує відношення коефіцієнта випаровування суміші до коефіцієнта випаровування етилового спирту.

Позначимо вміст суміші в парах через $\alpha\%$, а в рідкій фазі – через $\beta\%$. Якщо при цьому вміст етилового спирту в парах $A\%$, а в рідкій фазі – $a\%$, то:

$$K_{\text{сум}} = \frac{\alpha}{\beta}; K_{\text{сп}} = \frac{A}{a};$$

$$K' = \frac{K_{\text{сум}}}{K_{\text{сп}}} = \frac{\alpha}{\beta} \div \frac{A}{a} = \frac{\alpha a}{\beta A}$$

Процес ректифікації спирту може відбуватись в апаратах *прямої* або *побічної дії*.

В установках прямої дії епюрації (відділенню головних домішок) при низьких концентраціях спирту коефіцієнти ректифікації домішок будуть мати більші значення, відповідно, їх видалення буде більш інтенсивним. Установка складається з епюраційної колони, бражної колони і ректифікаційної колони. В бражній колоні виділяють етиловий спирт та частину домішок. Основну масу парів з бражної колони направляють в ректифікаційну колону. Деяка частина парів з бражної колони надходять в епюраційну колону для її обігріву. Основну частину домішок відбирають в ректифікаційній колоні, після чого ректифікат відводять з однієї з верхніх тарілок ректифікаційної колони [15].

Недоліками такого методу ректифікації є отримання спирту нижчої якості; необхідність додаткового контролю процесу на кожній стадії, оскільки порушення роботи в бражній та епюраційній колонах негативно впливає на роботу ректифікаційної колони.

В установках побічної дії водно – спиртові пари, які піднімаються з бражної колони повністю згущуються в дефлегматорі і конденсаторі, після чого

в рідкому вигляді надходять на епюрацію. Епюрат подається в ректифікаційну колону, де виділяються проміжні продукти, сивушні олії і спирт – ректифікат. Дана установка набула широкого застосування через високі експлуатаційні показники, високий вихід та якість продукту [17].

Для проведення процесу ректифікації найбільш доцільно буде використати триколонну установку побічної дії.

1.2.4 Технологія зневоднення спирту

Стадія зневоднення біоетанолу є одним з найбільш енергоємних етапів виробництва, проте є важливою, оскільки при ректифікації не можливо отримати спирт концентрацією вище, ніж 96%.

Відомо декілька методів отримання абсолютного спирту [18]:

- 1) за допомогою зв'язування води твердими водозв'язуючими матеріалами на холоді;
- 2) з застосуванням рідких водозв'язуючих речовин;
- 3) азеотропний метод;
- 4) з застосуванням розчинів солей, які зміщують азеотропну точку (сольове абсолютування);
- 5) застосування явища дифузії парів через пористі перегородки;
- 6) абсолютування під вакуумом.

З перерахованих методів найбільшого промислового значення набув азеотропний метод, проте перспективним також є використання методу абсолютування з застосуванням розчинів солей.

Суть методу *сольової дегідратації* полягає в тому, що водно – спиртовий розчин в вигляді пари направляють в ректифікаційній колоні назустріч стікаючому по тарілках розчину солі в абсолютному спирті. В якості розчинної речовини можуть бути використані оцтовокислий калій, хлористий кальцій та їдкий натр [19].

При дослідженні даного методу було встановлено, що додавання солі до системи, яка складається з двох взаємнорозчинних рідких компонентів,

призводить до порушення рівноваги. При цьому, в парову фазу переходить більше того компонента, в якому сіль менш розчинна.

Установка для сольової дегідратації представлена на рисунку 1.2.2.

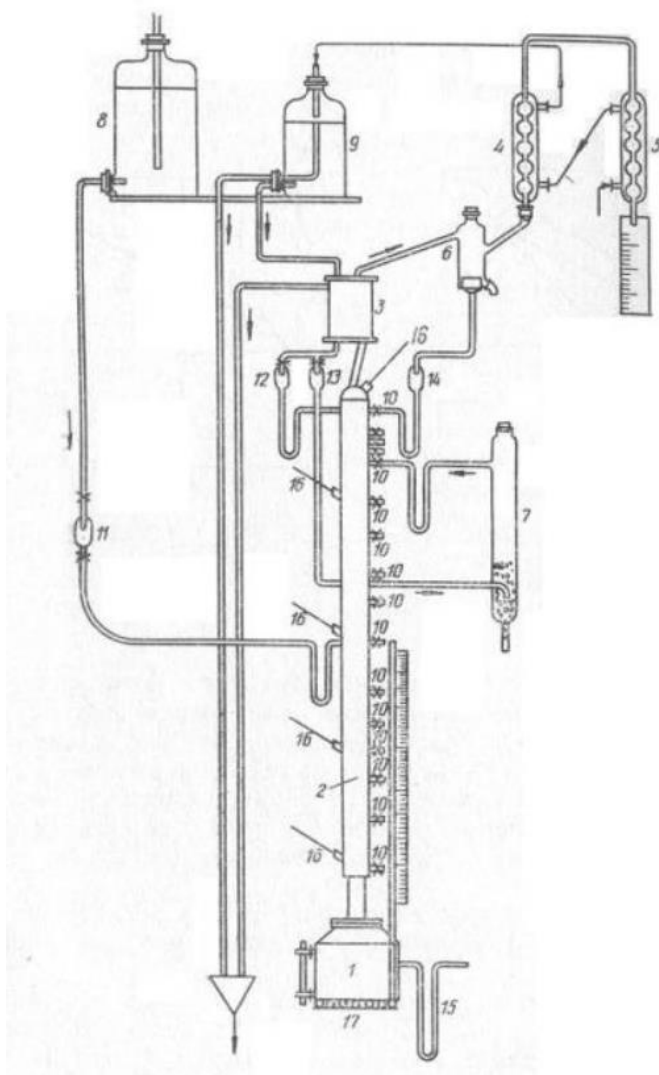


Рисунок 1.2.2 – Схема апарату для абсолютування спирту за допомогою солей [20]

1 – куб; 2 – колона; 3 – сепаратор; 4,5 – конденсатори - холодильники;
6 - розділювач; 7 – солерозчинник; 8 – ємність Маріотта; 9 – посудина для забезпечення постійного натиску води; 10 – крани; 11 – 14 – крапельниці;
15 – гідравлічний затвор; 16 – термометри; 17 – електроплитка.

Даний метод не набув такого широкого застосування через складність конструкції та необхідність забезпечення додаткових етапів підготовки сольових розчинів, проте цей метод дає значну економію у витраті пари.

Азеотропний метод, як вже зазначалось, є одним з найпоширеніших методів концентрування біоетанолу, який дає можливість отримання спирту з концентрацією до 99,5%. Даний метод має на меті застосування третього компоненту, який вибірково взаємодіє з одним із компонентів азеотропної суміші. До компонентів, які можуть бути використані як захоплювач для отримання безводного біоетанолу з суміші, належать бензол, циклогексан, гексан, ацетон тощо. Однак найчастіше використовують бензол, з яким утворюється потрібна суміш вода – бензол – етанол [21].

Потрібна азеотропна суміш забирає всю воду, яка присутня в цій системі, але її кількість не повинна бути великою. Тому водноспиртовий розчин, який надходить на концентрування, повинен містити до 90% мас. спирту.

На рисунку 1.2.3 представлена принципова схема апарату для абсолютування спирту. Водно–спиртову суміш, яка надходить на зневоднення, переганяють в ректифікаційній колоні *а* в присутності бензолу, після чого потрібний азеотроп подається в дефлегматор *б*, де конденсується. Частина конденсату повертається в колону як флегма, а інша – надходить в холодильник *в* і декантатор *г*.

У відстійнику охолоджена суміш розділяється на два шари, верхній шар містить (мас.%): етиловий спирт 13,3, бензол – 85,0, вода – 1,7. Склад нижнього шару: спирт – 49,7, бензол – 9, вода – 41,3.

Шар, який містить більшу кількість бензолу, повертається назад в колону, а нижній надходить в посудину для промивання водою. При цьому в пробивачі відділяється бензол, нерозчинний в воді, а спирт направляється в колону для зневоднення.

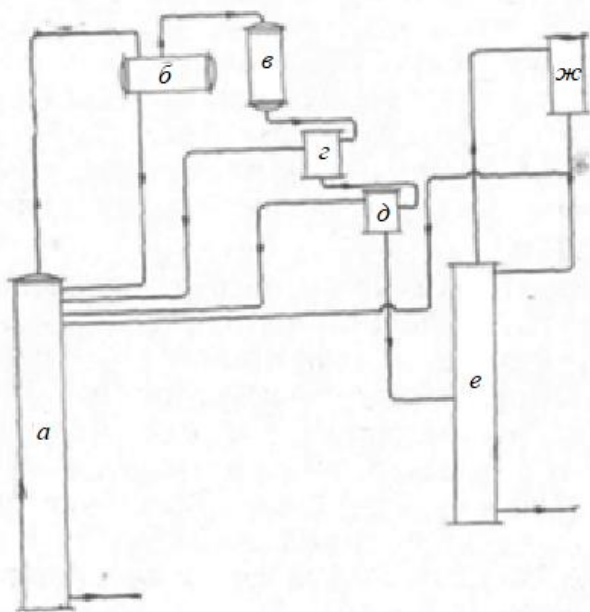


Рисунок 1.2.3 – Принципова схема зневоднення етанолу азеотропним методом [22]: *а* – ректифікаційна колона, *б* – дефлегматор, *в* – холодильник, *г* – декантатор - відстійник, *д* – промивальна посудина, *е* – зневоднююча колона, *ж* – дефлегматор.

1.3 Характеристика біологічного агента

Zyotomonas mobilis – це факультативний анаероб, грамнегативна паличкоподібна бактерія, має широкий діапазон рН (3,5 – 7,5), відома своєю здатністю до виробництва біоетанолу [23]. Попри те, що найбільш поширеними для виробництва біоетанолу є дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, *Z.mobilis* має свої переваги, завдяки яким привернув значну увагу. Такі як [24]:

- висока продуктивність етанолу в порівнянні з дріжджами (до 5 – 10% вища);
- вихід етанолу до 97% від теоретично можливого;
- *Z.mobilis* має високу толерантність як до етанолу, так і цукрів, що містяться в гідролізаті;
- стійкий до забруднення іншими мікроорганізмами;
- здатність *Z. mobilis* рости при кислому р додатково робить його стійким до контамінації;

- *Z. mobilis* є аеротолерантним, але не потребує подачі кисню для росту, що спрощує вимоги до проектування та зменшує виробничі витрати;
- здатність *Z. mobilis* рости при температурі до 42°C.

Z. mobilis демонструє ряд бажаних характеристик для його використання в якості етаногенного мікроорганізму, включаючи шлях Ентнера-Дудорова (ЕД), що робить його ідеальною платформою як для метаболічної інженерії, так і для виробництва біопродуктів у комерційному масштабі. Багато вдосконалених генетичних інструментів, включаючи методи мутації, методи скринінгу та редагування геному, використовуються для вдосконалення різних штамів *Z.mobilis* [25].

2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

2.1 Схема перебігу процесів

Виробництво біоетанолу являє собою складний технологічний процес. Залежно від сировини, яка використовується для проведення процесу, обирають різні шляхи утворення біоетанолу. В даній роботі сировина – відходи кукурудзяної промисловості, тому процес виробництва біоетанолу складається з таких основних стадій:

1. Попередня обробка целюлозовмісної сировини реактивом Фентона для відділення целюлози від лігніну.
2. Гідроліз сировини для розкладання полісахаридів до їх мономерів.
3. Стадія зброджування отриманого гідролізату.
4. Ректифікація спирту.

Технологічна схема виробництва біоетанолу зображена на рисунку 2.1.

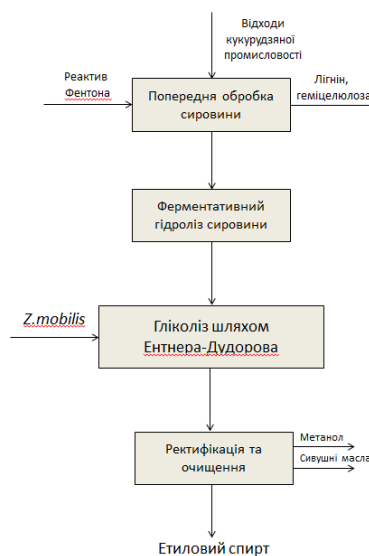


Рисунок 2.1 – Технологічна схема отримання біоетанолу з целюлозовмісної сировини [26]

					ЕКБ.БЕ7117.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Романюк О.М.			БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ		Літ.	Арк.
Керівн.		Козар М.Ю.						22
Реценз.							КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ, БЕ-71	
Конс.								
Затверд.		Козар М.Ю.						

2.1.1 Ферментативний гідроліз сировини

Целюлоза є найпоширенішим компонентом лігноцелюлозної біомаси, що становить близько 30-50% від її сухої маси. Целюлоза - це гомополісахарид, макромолекули якого побудовані з залишків D-глюкози (ланок β -D-ангідроглюкопіранози), зв'язаних β -1,4-глікозидними зв'язками, зі ступенем полімеризації від декількох сотень до більш ніж 10 000 [27].

Деструкція целюлози вимагає спільної роботи ендоглюканази, целобіогідролази та β -глюкозидази [28]. Ендоглюканаза відповідає за гідроліз внутрішньомолекулярних β -1,4-глікозидних зв'язків целюлози, що створює більше кінців для дії целобіогідролаз, оскільки вони відщеплюють, залежно від типу ферментів, целобіозу від редукуючих або невідновлювальних кінців полімеру целюлози [29]. Целобіогідролази вивільняють розчинну целобіозу у водну фазу. При цьому вивільнення розчинних цукрів із твердого субстрату у водну фазу обмежує швидкість для всього процесу гідролізу [28]. Отримані в результаті дії цих ферментів ди- або олігосахариди потім гідролізуються β -глюкозидазою до глюкози, яка зменшує інгібування целобіозою ендоглюканази та целобіогідролази (рис. 2.1.1). При цьому целобіогідролаза більш чутлива до інгібування, ніж ендоглюканаза.

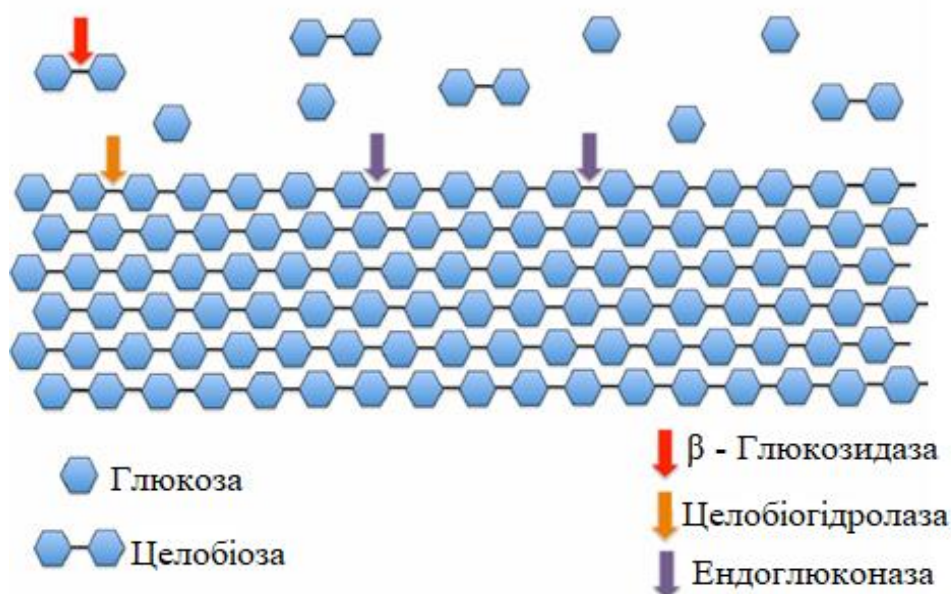


Рисунок 2.1.1 – Схематичне зображення гідролізу целюлози [30]

Як бачимо, ферментативний гідроліз целюлози - це складний процес, що включає різноманітні властивості субстрату, а також синергію та конкуренцію між кількома ферментами на обмежених доступних твердих поверхнях. В роботі [31] припускають, що оптимальне співвідношення целобіогідролази до ендоглюканази для максимальної синергії - це динамічне, а не постійне значення, залежно від властивостей субстрату (ступінь полімеризації та доступності субстрату), ферментних навантажень та часу реакції.

Також зазначимо, що очищені целюлози - це мікрометричні частинки, що складаються з мікрофібрил розміром в нанометр. Як правило, ці частинки целюлози складаються з кристалічної, паракристалічної (невпорядкованої) та аморфної структур. Аморфна целюлоза швидко розкладається целобіозами до целобіози, тоді як гідроліз кристалічної целюлози відбувається набагато повільніше. Так, деякі автори припускають, що швидкість гідролізу залежить від кристалічності целюлози [32]. Хоча в деяких дослідженнях було встановлено, що швидкість сповільнюється із збільшенням кристалічності целюлози [33], інші виявили зворотний ефект [34].

2.1.2 Біохімія спиртового бродіння

Оскільки обрані мікроорганізми *Zyotomonas mobilis* не здатні до спиртового бродіння, зброджування глюкози відбувається шляхом Ентнера – Дудорова.

Zyotomonas mobilis:



Рис. 2.3 – КДФГ шлях перетворення глюкози на етанол за допомогою бактерії *Zyotomonas mobilis* [35]

За шляхом Ентнера – Дудорова глюкоза фосфорилюється за рахунок молекули АДФ, за допомогою ферменту глюкокінази перетворюється в глюкозо-6-фосфат, який може йти на гліколіз або пентозофосфатний шлях. За допомогою 2-кетоглюкозо-3-дезоксиглюкозо-6-фосфоглюкозо-6-фосфат перетворюється в фосфо – глюкогогалактон, використовуючи глюкозо-6-фосфат дегідрогеназу, після чого він зазнає два перетворення під дією води та ферменту фосфоглюконолактонази, утворюючи 6-фосфо-глюконоат. Далі відбувається відщеплення молекули води і перетворення в 2-кетоглюкозо-3-дезоксиглюкозо-6-фосфоглюконоат. Під дією ферментів альдолаз 2-кетоглюкозо-3-дезоксиглюкозо-6-фосфоглюконоат розщеплюється на дві сполуки: піровиноградку кислоту та трифосфогліцеринний альдегід, який через декілька реакцій перетворюється в піровиноградну кислоту. З піровиноградної кислоти утворюється дві молекули АТФ і NADH [36].

Таким чином, глюкоза розщеплюється на 2 молекули піровиноградної кислоти, яка піддається наступним перетворенням до ацетальдегіду та CO₂ за допомогою ферменту піруватдекарбоксилази. При цьому спирт утворюється шляхом відновлення ацетальдегіду при дії ферменту алкоголь-дегідрогенази, що містить в якості коферменту NADH [37].

2.2 Характеристика кінцевого продукту

Біоетанол у чистому вигляді – безбарвна рідина з м'яким характерним запахом, яка кипить при 78°C та замерзає при -112°C. Біоетанол є одним з найвідоміших видів біопалива, яке використовується здебільшого як добавка до бензину [38]. Основними етапами виробництва біоетанолу є подрібнення (підготовка сировини), зброджування цукрів за допомогою мікроорганізмів (ферментація) та ректифікація.

Фізичні властивості біоетанолу [39]:

- Густина – 789,3 кг/м³;
- Динамічна в'язкість – 1,2 мПа · с (при 20°C);
- Температура спалаху - 13°C;

- Температура самозаймання - +363°C
- Молярна теплоємність – 112,4 Дж/(моль·К).

В залежності від технології виробництва біоетанол може бути двох марок «А» та «Б» (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Фізико – хімічна характеристика біоетанолу за
ГОСТ Р 51999 - 2002

Назва показника	Марка А, сорт		Марка Б, сорт	
	вищий	1-ий	вищий	1-ий
Зовнішній вигляд	Безбарвна прозора рідина без механічних домішок			
Запах	Характерний запах чистого етанолу, без запаху сторонніх речовин			
Об'ємна частка етанолу, %, не менше	97,8	96,2	98,3	96,0
Окислюваність при 20°C, хв., не менше	15	15	15	15
Масова концентрація кислот в перерахунку на оцтову кислоту в безводному етанолі, мг/дм ³ , не більше	8	15	8	15
Масова концентрація оцтового альдегіду в перерахунку на безводний етанол, мг/дм ³ , не більше	4	8	4	8
Масова концентрація етилового ефіру оцтової кислоти в перерахунку на безводний етанол, мг/дм ³ , не більше	5	12	5	12
Масова концентрація спиртів С ₃ – С ₄ в перерахунку на безводний етанол, мг/дм ³ , не більше	8	10	8	10
Об'ємна частка метанолу, %, не менше	0,005	0,01	0,005	0,01

Існує три різні способи застосування біоетанолу в якості моторного палива [40]:

- як добавка до бензину від 5 до 15% (E5, E10, E15) для використання в звичайних бензинових двигунах. Паливо, що містить етанол, маркується літерою E та цифрою, яка позначає відсоток вмісту спирту. Наприклад, E10 - це суміш, яка містить 10% біоетанолу та 90% бензину;
- у вигляді сумішей з вмістом етанолу до 85% (E20, E30, E85) для використання в автомобілях з двигунами з універсальним споживанням палива. Чисте (100%) біоетанолове паливо в якості моторного використовується тільки в Бразилії. В інших країнах етанол змішують з бензином в різних пропорціях. Наприклад, в паливній суміші E85 85% біоетанолу та 15% бензину;
- для синтезу етилтретбутилового ефіру (ЕТБЕ) - високооктанового компонента бензину, який має ряд переваг перед біоетанолом.

Виробництво ЕТБЕ набуло широкого поширення в європейських країнах, де більше половини всього біоетанолу направляється на синтез ЕТБЕ.

Спиртове паливо має більше переваг у порівнянні з викопним паливом:

- спирт з більш низькою молекулярною вагою може бути отриманий з місцевих енергетичних ресурсів, таких як біомаса, вугілля та природний газ, які доступні за низькою ціною;
- спалювання спирту в двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) створює більший тиск згорання в порівнянні з бензином. Крім того, це покращує вихідну потужність і теплової ККД в порівнянні з бензином;
- знижуються викиди парникових газів;
- у порівнянні з бензином спирти з більш високим середнім октановим числом підвищують потужність;
- зменшується виділення токсичних газів в навколишнє середовище;
- загальна енергоефективність палива поліпшується.

У біоетанолу є один суттєвий недолік: при низьких температурах двигун, що працює на 100%-му біоетанолі, важко запускається. Проблема вирішується шляхом невеликого (близько 5%) додавання бензину.

					ЕКБ.БЕ7117.ДП	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Сировина та матеріали

Сировина та матеріали, що використовуються для виробництва спирту, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Сировина та матеріали для виробництва біоетанолу

Найменування	Категорія і номер НДТ, згідно якого перевіряється сировина	Обов'язкові для перевірки показники та їх нормативне значення	Примітка
1. Основна сировина			
1.1 Кукурудзяні відходи	ДСТУ-4525:2006 «Кукурудза.Тенічні умови»	Відсутність плісняви, гниття, хвороб та домішок	Початкова сировина
1.2 Мінеральні солі	ДСТУ 7274:2012 «Хімічні реактиви. Реактиви, розчини для аналізу та матеріали допоміжні. Методи готування»	Відсутність домішок	-
1.3 Вода питна	ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості»	Відсутність забруднень і контамінації, рН в межах 5,5 – 7,5	Приготування розчинів та поживних середовищ; миття та ополіскування
1.4 <i>Zygomonas mobilis</i>	-	Відсутність контамінантів	Посівний матеріал

					ЕКБ.БЕ7117.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Романюк О.М.			ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА		Літ.	Арк.
Керіdn.		Козар М.Ю.						29
Реценз.							КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ, БЕ-71	
Конс.								
Затверд.		Козар М.Ю.						

Найменування	Категорія і номер НДТ, згідно якого перевіряється сировина	Обов'язкові для перевірки показники та їх нормативне значення	Примітка
2. Допоміжна сировина			
2.1 Пероксид водню	ДСТУ 7356: 2013 МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРОКСИДУ ВОДНЮ	Концентрація 35%	Дезінфекція обладнання
2.2 ДМСО	Відповідність специфікації виробника	-	Приготування реактиву Фентона
2.3 Хлорид феруму	ДСТУ 7259:2012 Хімічні реактиви	Відсутність домішок	Приготування реактиву Фентона
2.4 Стиснене повітря	ДСТУ 4169:2003 Стиснене повітря. Частина 1. Забруднювачі та класи чистоти (ISO 8573-1:2001, MOD)	Відсутній контамінантів	Аерація
3. Матеріали			
3.1 Каністри для розливу	ДСТУ EN 12712:2005	Відсутність забруднення, сторонніх розчинів	Розлив готової продукції
4. Напівпродукти			
4.1 Бражка	-	Концентрація спирту до 1,5; pH – $5 \pm 0,2$	Виділення та ректифікація

Найменування	Категорія і номер НДТ, згідно якого перевіряється сировина	Обов'язкові для перевірки показники та їх нормативне значення	Примітка
4.2 Культуральна рідина	-	Відсутність контамінантів	Зброджування
4.3 Посівний матеріал	-	Відсутність сторонньої мікрофлори	Засів апарату
2.4 Гідролізат	-	Відсутність домішок та сторонньої мікрофлори	Зброджування

3.2. Опис технологічного процесу

Дана технологія передбачає виробництво біоетанолу з відходів кукурудзяної промисловості об'ємом 15 000 т/рік.

ДР1 Санітарна підготовка виробництва

ДР 1.1 Підготовка очищеної води

В спиртовому виробництві вода є важливою сировиною та технологічним продуктом, оскільки її використовують для промивання обладнання і підготовки ємностей та для приготування поживних середовищ. Для головного очищення води використовують фільтри з інертною фільтрувальною речовиною, після чого проводять доочищення води за допомогою мембранних фільтрів.

ДР 1.2 Підготовка гострої пари

Підготовка пари відбувається у спеціальних котлах при високому тиску та температурі 120°C. Пара низького тиску надходить до ТП7. На цій стадії здійснюється технологічний контроль Кт – тиск пари, що подається в процес, який повинен складати 0,3 МПа.

ДР 1.3 Підготовка персоналу

Підготовка персоналу починається з проведення інструктажу з правил техніки безпеки та основних принципів та правил GMP.

Санітарна підготовка персоналу передбачає забезпечення попередньо підготованим технічним одягом та засобами індивідуального захисту кожного працівника виробництва.

ДР 1.4 Підготовка дезінфікуючих розчинів

Для санітарної обробки об'єктів підприємства слід застосовувати миючі та дезінфікуючі розчини, які внесені в «Обліковий перелік дезінфекційних засобів України». Традиційно миючі засоби готують з використанням порошкоподібного миючого засобу, перемішуючи його з водою при температурі 40 – 50°C до концентрації 10%. В якості дезінфікуючого розчину використовують розчин перекису водню (6%). Приготування здійснюється змішуванням 35-% розчину з водою, до концентрації 6%.

ДР 1.5 Підготовка виробничих приміщень

Процес підготовки приміщень має на меті обробку зовнішніх поверхонь виробничого обладнання та комунікацій за допомогою мильних розчинів з наступною обробкою попередньо приготованими дезінфікуючими розчинами. Дана стадія передбачає щоденне прибирання приміщень, яке проводять кожного дня після завершення зміни, а також генеральне прибирання - один раз на тиждень.

ДР 1.6 Підготовка обладнання та комунікацій

Підготовка здійснюється до початку та після закінчення технологічного процесу. Спочатку проводять мийку обладнання за допомогою мильних розчинів, після чого здійснюють обробку дезінфікуючими розчинами та ополіскування.

Дезінфекція відбувається протягом 1,5 – 3,0 годин при температурі 65°C, при цьому обладнання повністю заповнюють розчином антисептика. Дезінфекція комунікацій здійснюється за допомогою передавлювання

антисептика з одного апарату в інший. Після чого обладнання та комунікації промивають очищеною водою.

Стерилізацію обладнання проводять гострою парою при тиску 0,4 МПа при температурі 130°C.

ДР2 Підготовка технологічного повітря

Стадія передбачає підготовку технологічного стерильного повітря для підтримки процесу аерації.

ДР 2.1 Забір атмосферного повітря

Враховуючи те, що кількість мікроорганізмів в повітрі убуває зі збільшенням висоти над рівнем землі, тому забір повітря відбувається на висоті 15 – 20 м за допомогою повітрозбірника.

ДР 2.2 Грубе очищення повітря

Стадія грубого очищення повітря є першим етапом очищення, на якому використовують фільтр, в якому в якості фільтрувального матеріалу використовується груба синтетична тканина, де видаляється основна маса великих механічних фракцій та пилу розміром 5 – 10 мкм.

ДР 2.3 Стиснення та транспортування повітря

Процес стиснення повітря відбувається у повітряному турбокомпресорі при температурі 200°C та тиску 0,5МПа. Після чого повітря транспортується за допомогою вентиляторів до стадії видалення вологи.

ДР 2.4 Охолодження та видалення вологи

Щоб видалити з повітря зайву вологу, його необхідно охолоджувати до температури нижче крапки роси. Процес видалення вологи бажано використовувати спільно з магістральними фільтрами. Така схема забезпечить максимально ефективне очищення: фільтр затримає тверді частинки, масло і значну частину вологи, а решта вода буде затримана осушувачем.

ДР 2.5 Очищення в головному фільтрі

Подальше очищення повітря відбувається за допомогою нетканинних фільтруючих матеріалів з різних синтетичних волокон з діаметром пор 1 мкм. Відбувається фільтрація повітря від твердих мікрочастинок на головному

фільтрі (з діаметром пор не більше 1 мкм) і масляних домішок (до 0,1 мг/м³).
Ступінь очистки такого повітря становить 95%.

Далі відбувається фільтрація в фільтрах тонкої очистки, яка забезпечує очищення повітря від часток діаметром 0,3 мкм.

ДР3 Підготовка сировини

ДР3.1 Подрібнення сировини

Сировина попередньо очищується від домішок та подрібнюється до оптимальних розмірів частинок, що складають 0,4 – 0,6 мм.

ДР3.2 Обробка сировини реактивом Фентона

Після подрібнення відбувається обробка сировини за реакцією Фентона. В реактор Р-2 з системою механічного перемішування подається хлорид феруму, перекис водню, диметилсульфоксид (ДМСО) і вода та відбувається обігрів за допомогою гострої пари.

Після 4 годин перемішування відбувається відділення від лігніну, суспензія йде до гідролізапарату. По закінченню процесу в апараті залишається лігнін, який виділяється на фільтрі та йде на стадію його хімічної переробки ПВ11.1.

Проводиться технологічний контроль Кт – контроль температури в апараті, яка становить 130°C.

ДР4 Підготовка поживного середовища

ДР4.1 Приготування поживного середовища

Процес приготування поживних середовищ включає в себе вибір мінеральних сполук, необхідних для росту продуцентів. В елементарний склад поживного середовища входять: фосфор, сірка, залізо, кальцій, калій, магній тощо. Через дозатор Д-3 в реактор Р-4 подаємо основні компоненти поживного середовища:

- KH_2PO_4 – 5,4 г/ дм³;
- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 8,5 г/ дм³;
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,7 г/ дм³;
- CaCl_2 – 0,7 г/ дм³;

- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,008 г/ дм³;
- $\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 0,0025 г/ дм³;
- Подрібнені кукурудзяні відходи – 15 г/дм³;
- Лактоза – 10 г/ дм³.

Проводять контроль концентрації мінеральних сполук.

ДР 4.2 Стерилізація поживного середовища

Процес проводять при тиску 0,4 МПа за температури 120°C протягом 15 – 30 хв.

ДР5 Отримання посівного матеріалу культури *Z.mobilis*

Поживне середовище засівають чистою культурою враховуючи, щоб біомаса посівних дріжджів з вологістю 75% не перевищувала 20-30% ваги вуглецевмісні компонентів середовища. Вирощування біомаси чистої культури дріжджів, що необхідна для культиваційного резервуара, здійснюють у декілька стадій.

ДР6 Культивування *Zymomonas mobilis*

Культивування відбувається в ферментері ФВ-11 з механічним перемішуючим пристроєм – турбінною мішалкою. Дозатором Д-9 в апарат подається поживне середовище від ДР4 та надходить посівний матеріал виробничої культури. Культивування проводиться протягом 24 годин при температурі 33°C.

На стадії культивування здійснюють контроль температури всередині апарату – технологічний контроль Кт; хімічний контроль Кх – контроль рівня рН середовища (рН – 4,5-5); мікробіологічний контроль Км – кількість клітин мікроорганізмів у пробі.

ТП7 Ферментативний гідроліз сировини

Попередньо підготовлена сировина від ДР3 надходить в гідролізний апарат Р-14, об'ємом 50 м³, після чого подають нагріту до 50°C воду та ферментний препарат та перемішують протягом 12 годин. Після закінчення процесу перемішування гідролізний апарат підігрівають гострою парою до температури 85°C та витримують 10 хв.

На етапі гідролізу здійснюється технологічний контроль Кт, який полягає в контролі температури всередині апарату, значення якої повинно бути 50°C.

ТП8 Зброджування поживного середовища

Утворений на ТП7 гідролізат, який містить глюкозу, надходить до реактора Фв-17 через дозатор Д-15. Також сюди подають культуральну рідину від Фв-11. Процес здійснюється протягом 10-12 годин при температурі 33°C, рН середовища повинно становити близько 4,5.

На даному етапі відбувається утворення етилового спирту і виділення вуглекислого газу. Бродіння проходить у закритих герметичних апаратах, що унеможливорює втрат етанолу та виділення вуглекислого газу назовні.

На даній стадії здійснюються всі види контролю: технологічний контроль Кт має на меті контроль за температурою в апараті 32 – 34°C та сорочці апарату, а також за тиском в апараті і витратами рідини, що поступає в ферментер; хімічний контроль Кх полягає у підтримці значення рН на рівні 4,5; мікробіологічний контроль Кмб обумовлений визначенням чистоти культури і кількістю синтезованого продукту в певний період часу.

ТП9 Виділення біоетанолу

Після бродіння від ТП8 рідина надходить у сепаратор, де відділяються мікроорганізми і повертаються у ферментер. Сепаратор працює безперервно при швидкості 4500 – 6000 об/хв. Після сепарування етанол направляють у дистиляційне відділення на ТП10.

ТП10 Ректифікація біоетанолу

Процес ректифікації базується на взаємодії потоків рідини і пари. При цьому спирт-сирець подається на живильну тарілку ректифікаційної колони, яка працює при атмосферному тиску, а пара надходить в нижню частину колони. Пара починає підніматись вгору ректифікаційної колони і потрапляє в дефлегматор, в якому конденсуються пари водно-спиртової суміші, що надходять з верхньої тарілки колони. Пара поступово забирає спирт з конденсату, що стікає по колоні. Також з дефлегматору відбирається ефіроальдегідна фракція.

На цьому етапі здійснюється технологічний контроль Кт, який передбачає контроль температури в колонії, яка має становити 200°C, а також робочий тиск – 0,5 атм.

ТП11 Зневоднення ректифікованого спирту

Спирт зневоднюється з використанням азеотропного методу в потрібній суміші вода-бензол-етанол, яка випаровується при температурі кипіння – 64,9°C.

На даній стадії передбачається технічний контроль Кт, а саме контроль за температурою кипіння, яка повинна бути в межах 64,9 - 70°C.

ПМВ12 Розлив біоетанолу

Розлив готового біоетанолу проводиться у каністри місткістю 20 л згідно ДСТУ EN 13974:2007 Тара жорстка пластмасова. Значення граничних відхилів розмірів, маси та об'єму (EN 13974:2002, IDT). Каністри розраховані на піддони розмірами 800 мм 1200 мм. Максимальне заповнення тари продуктом – 90%.

ПМВ 13 Пакування та маркування кінцевої продукції

Спирт розливають у пластикові каністри згідно регламенту. Маркування повинно включати в себе попереджувальний знак, що показує горючість продукту та знак «Ек» - позначення біопалива. Термін зберігання в темному приміщенні, під температурою не більше 25 °C – 5 років.

ЗВ 14 Знешкодження відходів, які утворилися під час технологічного виробництва

Використане повітря проходить очистку від мікроорганізмів (знезараження). Всі стоки від стадій підготовки обладнання та виробничих процесів знезаражуються та відводяться у міську каналізацію, для подальшої доочистки.

ЗВ 15 Переробка відходів

ЗВ 15.1 Хімічна переробка лігніну

Лігнін, що залишився після процесу гідролізу виділяють в циклоні і відправляють на хімічну переробку.

ЗВ 15.2 Утилізація лютерної води

					ЕКБ.БЕ7117.ДП	37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лютерна вода після очищення може рециркулювати в систему і використовуватись як технічна вода. Інший варіант передбачає скидання очищеної лютерної води у каналізацію.

ЗВ 15.3 Утилізація сивушної фракції

Отримують сивушні масла шляхом переробки сивушної фракції за допомогою трьохфазної сепарації.

3.3 Контроль виробництва біоетанолу

Для отримання продукту, який буде відповідати вимогам зазначених в НТД, на кожній стадії технологічного процесу необхідно здійснювати різні види контролю. Види контролю та параметри наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Точки і параметри контролю виробництва

Назва стадії технологічного процесу	Параметр, що контролюється	Частота перевірки	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Метод контролю	Метод контролю параметра, тип приладу
ДР1.1 Підготовка води очищеної	Присутність домішок важких солей та мікробіологічна чистота	1 раз на 3 дні	Згідно ДСТУ 7525:2014	Кх Км	Хімічний та Мікробіологічний аналіз
ДР 1.3 Підготовка гострої пари	Температура	Постійно	120°C	Кт	Термометр
	Тиск		0,3 МПа		Манометр
ДР 1.4 Підготовка дезінфікуючих та миючих розчинів	Концентрація розчинів	Кожна операція	6-% розчин пероксиду водню та 10-% миючий розчин	Кх	Хімічний аналіз

Продовження таблиці 3.3

Назва стадії технологічного процесу	Параметр, що контролюється	Частота перевірки	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Метод контролю	Метод контролю параметра, тип приладу
ДР 1.5 Підготовка виробничих приміщень	Мікробіологіч на чистота поверхонь	Кожна операція	Згідно МУ 42-51-4-93	Км	Мікробіологічний контроль
ДР 1.6 Підготовка обладнання та комунікацій	Мікробіологіч на чистота обладнання	Кожна операція	Згідно МУ 42-51-4-93	Км	Мікробіологічний контроль
ДР 2 Очищення повітря	Мікробіологіч на чистота	Седиментаційний аналіз	Перед виробничим процесом	Км	Менше мікрофлори на 40%
	Температура	Термометр	Постійно	Кт	50-60%
	Вологість	Психрометр	Постійно	Кт	20°C
ДР 3.1 Обробка сировини реактивом Фентона	Концентрація розчинів	Постійно	Згідно регламенту	Кх	Хімічні методи кількісного визначення
	Температура		130±5°C	Кт	Термометр
ДР 4 Підготовка поживного середовища	Концентрація мінеральних сполук	Кінцева	Згідно ДСТУ 7274:2012	Кх	Хімічні методи кількісного визначення

Продовження таблиці 3.3

Назва стадії технологічного процесу	Параметр, що контролюється	Частота перевірки	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Метод контролю	Метод контролю параметра, тип приладу
ДР6 Культивування <i>Zygomonas mobilis</i>	Температура	Постійно	33°C	Кт	Термометр
	Мікробіологічна чистота		Без контамінантів	Км	Мікробіологічний контроль
	Рівень аерації		40м ² /год	Кт	Контрольні прилади
ТП 7 Ферментативний гідроліз	Концентрація ферментних препаратів	Після завершення гідролізу	75,-15,0%	Кх	Хроматографічний метод
ТП 8 Зброджування поживного середовища	Температура	Постійно	30-35°C	Кт	Термометр
	Тиск	Постійно	1,0 ± 0,1 МПа		Манометр
	рН	Постійно	4,5±0,5		рН-метр
	Мікробіологічна чистота	1 год	Відсутність сторонньої мікрофлори	Км	Мікробіологічний контроль
	Кількість спирту	1 год	1-1,5%	Кх	
ТП 9 Виділення спирту	Швидкість обертів сепаратора	Постійно	4500 – 6000 об/хв	Кт	Сепаратор
ТП 10 Ректифікація спирту	Температура	Постійно	200°C	Кт	Термометр

Продовження таблиці 3.3

Назва стадії технологічного процесу	Параметр, що контролюється	Частота перевірки	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Метод контролю	Метод контролю параметра, тип приладу
ТП 11 Зневоднення ректифікованого спирту	Температура	Постійно	64,9 - 70°C	Кт	Термометр
ПМВ 12 Розлив біоетанолу	Вміст спирту в каністрі	Після розливу	20 л	Кт	Візуально
ПМВ 13 Пакування і маркування кінцевої продукції	Наявність відповідних маркувань	Після пакування	Згідно НТД про вміст	Кт	Візуально
ЗВ 14 Знешкодження відходів, які утворились	Наявність забруднень	На кожній стадії	Згідно НТД про відходи	Кх	Хімічний аналіз

3.4 Матеріальний баланс

Матеріальний баланс складений на 15 кг біоетанолу і наведений у табл.

3.4.

Таблиця 3.4. Матеріальний баланс процесу виробництва біоетанолу

Використано			Отримано		
Стадія	Назва сировини, матеріалів	Кількість	Стадія	Назва кінцевого продукту або напівпродукту, відходів та витрат	Кількість
		кг			кг
ДР3. Стадія попередньої обробки сировини	Кукурудзян і стрижні	141	ДР3. Стадія попередньої обробки сировини	Лігнін	218,4
	FeCl ₃	0,9		Оброблена сировина	1350
	H ₂ O ₂	4,05			
	Вода	1219,05			
	DMSO	203,4			
ДР4. Підготовка поживного середовища	Компонент и поживного середовища	0,65	ДР4. Підготовка поживного середовища	Стерильне поживне середовище	13,5
	Очищена вода	14,15			
ДР5. Отримання посівного матеріалу	Стерильне поживне середовище	13,5	ДР5. Отримання посівного матеріалу	Посівний матеріал	21,5
	Очищена вода	8			
ДР6. Культивування Zymomonas mobilis	Посівний матеріал	21,5	ДР6. Культивування Zymomonas mobilis	Культуральна рідина	171,5
	Очищена вода	150			

ТП 7. Ферментативний гідроліз	Культуральна рідина	171,5	ТП 7. Ферментативний гідроліз	Гідролізат	1178,5
	Оброблена сировина	1350			
ТП 8. Зброджування поживного середовища	Гідролізат	1178,5	ТП 8. Зброджування поживного середовища	Бражка	1167
				Вуглекислий газ	11,5
ТП 9. Виділення біоетанолу	Бражка	1167	ТП 9. Виділення біоетанолу	Біоетанол	17,5
				Мікроорганізми	1149,5
ТП 10. Ректифікація біоетанолу	Біоетанол	17,5	ТП 10. Ректифікація біоетанолу	Ректифікований спирт	15,5
				Домішки	2
ТП 11. Зневоднення ректифікованого спирту	Ректифікований спирт	15,5	ТП 11. Зневоднення ректифікованого спирту	Етиловий спирт	15
				Вода	0,5

4. ПІДБІР ТА РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ

4.1 Вибір обладнання

Кількість біоетанолу, яка має бути вироблена на рік: $P_p = 15\,000$ т

Для досягнення очікуваного виробітку в день потрібно виробляти:

$$m_{\text{сп.доб}} = \frac{m_{\text{сп.р.}}}{365} = \frac{15\,000}{365} = 41,1 \text{ т/добу}$$

Для досягнення мети по виробітку біоетанолу необхідно враховувати добову кількість бражки, яка надходить на ректифікацію, концентрація спирту в ній становить $c_{\text{сп}} = 1,5\%$, отже:

$$m_{\text{бр.доб}} = \frac{m_{\text{сп.доб.}}}{0,015} = \frac{41,1}{0,015} = 2740 \frac{\text{т}}{\text{добу}} = 114 \text{ т/год}$$

Швидкість потоку, враховуючи питому швидкість росту обраних мікроорганізмів ($f = 0,41 \text{ год}^{-1}$), для реактора об'ємом 100 м^3 буде дорівнювати:

$$u = V_p \cdot f = 100 \cdot 0,41 = 41 \text{ м}^3/\text{год}$$

Врахуємо втрати в навколишнє середовище при випарюванні гідролізату, що становить близько 10%. Оскільки з 1 т абсолютно сухої сировини отримуємо 16 т гідролізату, то при випарюванні його кількість буде:

$$16 \cdot 0,9 = 14,4 \text{ т}$$

На 1 т гідролізату додаємо 1 кг поживних солей та 100 кг інокуляту, отже отримаємо культуральної рідини:

$$14\,400 + (100 + 1) \cdot 14,4 = 15800 \text{ кг} = 15,8 \text{ т}$$

Розрахуємо необхідну кількість сировини, враховуючи, що потрібно забезпечити надходження культуральної рідини не менше 114 т на годину:

$$\frac{114}{15,8} = 7,2 \text{ т}$$

					ЕКБ.БЕ7117.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПІДБІР ТА РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Романюк О.М.						
Керію.		Козар М.Ю.					44	
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-71		
Конс.								
Затверд.		Козар М.Ю.						

Отже, обираємо два гідролізних апарати, об'ємом 50 м^3 та з коефіцієнтом заповнення 0,7.

4.2. Конструкційний розрахунок

Вихідні дані:

Температура в апараті: $t_c = 33^\circ\text{C}$

Холодний теплоносіє - вода.

Початкова температура: $t_{\text{с}}' = 10^\circ\text{C}$

Кінцева температура води: $t_{\text{с}}'' = 22^\circ\text{C}$

Загальний об'єм апарату: $V_n = 100 \text{ м}^3$

Коефіцієнт заповнення: $\varphi = 0,7$

Тривалість культивування: $\tau = 24 \text{ год}$

За ГОСТ 20680-2002 «Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия» було обрано апарат з еліптичним днищем і еліптичною знімною кришкою (тип 0), для нього приймаємо:

внутрішній діаметр апарата $D = 3600 \text{ мм} = 3,6 \text{ м}$

Розраховуємо днище апарату.

Висоту еліптичної частини днища розраховуємо за формулою:

$$h_{\text{с}} = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 3,6 = 0,9 \text{ м}$$

За ГОСТ 6533-78 «Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры» знаходимо решту конструктивних розмірів днища апарату:

- ємність еліптичного днища: $V_{\text{дн}} = 6893,6 \text{ дм}^3 = 6,894 \text{ м}^3$;
- товщина стінки еліптичного днища: $S_{\text{д}} = 25 \text{ мм} = 0,025 \text{ м}$;
- висота основи еліптичного днища: $h_1 = 0,08 \text{ м}$;
- внутрішня поверхня еліптичного днища: $F = 14,95 \text{ м}^2$;

Повна висота днища апарату :

$$h_{\text{дн}} = h_1 + h_{\text{с}} = 0,08 + 0,9 = 0,98 \text{ м}$$

Робочий об'єм апарату розраховуємо за формулою:

$$V_p = V_n \cdot \varphi = 100 \cdot 0,7 = 70 \text{ м}^3$$

Повний об'єм ферментера:

					ЕКБ.БЕ7117.ДП	45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V = V_{\text{ц}} + 2 \cdot V_{\text{дн}} = 100 \text{ м}^3$$

Звідси знаходимо об'єм циліндричної частини:

$$V_{\text{ц}} = V - 2 \cdot V_{\text{дн}} = 100 - 2 \cdot 6,894 = 86,2 \text{ м}^3$$

Висота циліндричної частини апарату:

$$H_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{ц}}}{F} = \frac{V_{\text{ц}} \cdot 4}{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2} = \frac{86,2 \cdot 4}{3,14 \cdot 3,6^2} = 8,47 \text{ м}$$

Висота апарату без штуцерів:

$$H_{\text{заг}} = H_{\text{ц}} + 2 \cdot h_{\text{дн}} = 8,47 + 2 \cdot 0,98 = 10,43 \text{ м}$$

Висота рівня рідини в апараті:

$$H_p = \frac{4 \cdot (V_p - V_{\text{дн}})}{\pi \cdot D^2} + h_{\text{дн}} = \frac{4 \cdot (70 - 6,894)}{3,14 \cdot 3,6^2} + 0,98 = 7,2 \text{ м}$$

Обираємо інокулятор для вирощування посівного матеріалу з відкритою турбінною мішалкою та кільцевим барботером.

4.3 Розрахунок перемішуючого пристрою

Діаметр перемішуючого пристрою визначаємо за:

$$\frac{D}{d_{\text{м}}} = 3 - 4$$

$$d_{\text{м}} = \frac{D}{4} = \frac{3600}{4} = 900 \text{ мм}$$

Знайдене значення діаметра мішалки $d_{\text{м}}$ округляємо до стандартного (ГОСТ 20680-75): $d_{\text{м}} = 900 \text{ мм} = 0,9 \text{ м}$

Для обраної мішалки такі основні співвідношення розмірів (для турбінної мішалки) [41]:

$$\frac{h_{\text{м}}}{d_{\text{м}}} = 0,2$$

$$\frac{h}{d_{\text{м}}} = 0,4 \div 1,0$$

$$\frac{b}{d_{\text{м}}} = 0,1$$

$$\frac{l}{d_{\text{м}}} = 0,25$$

$$\xi_m = 8,4$$

Висота перемішуючого пристрою:

$$h_m = 0,2 \cdot d_m = 0,2 \cdot 900 = 180 \text{ мм}$$

Ширина лопаті перемішуючого пристрою:

$$l = d_m \cdot 0,25 = 900 \cdot 0,25 = 225 \text{ мм}$$

Висота від днища до мішалки:

$$h = d_m \cdot 0,5 = 900 \cdot 0,5 = 450 \text{ мм}$$

Висота прикріплення мішалки:

$$h = d_m \cdot 0,6 = 900 \cdot 0,6 = 540 \text{ мм}$$

Ширина перегородки:

$$b = d_m \cdot 0,1 = 900 \cdot 0,1 = 90 \text{ мм}$$

Окружна швидкість перемішуючого пристрою:

$$w = 2,5 - 10 \text{ м/с}$$

Приймаємо $w = 5 \text{ м/с}$

Частота обертання мішалки:

$$n = \frac{w}{\pi \cdot d_m} = \frac{5}{3,14 \cdot 0,9} = 1,77 \text{ с}^{-1}$$

Приймаємо стандартне значення частоти обертання мішалки $n = 2,05 \text{ с}^{-1}$

Діаметр вала мішалки:

$$d_b = C \cdot d_m = 0,117 \cdot 900 = 105,3 \text{ мм}$$

Для турбінної мішалки $C = 0,117$.

Розраховуємо глибину воронки.

Параметр висоти завантаження апарата:

$$\gamma = 8 \cdot \frac{H_p}{D} + 1 = 8 \cdot \frac{7,2}{3,6} + 1 = 17$$

Модифікований критерій Рейнольдса:

$$\text{Re}_c = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_m^2}{\mu_c} = \frac{1070 \cdot 2,05 \cdot 0,9^2}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 1,2 \cdot 10^6$$

Параметр гідравлічного опору мішалки:

$$E = \frac{\gamma}{\xi_m \cdot z_m \cdot R_{eq}^{0,25}} = \frac{17}{8,4 \cdot 3 \cdot (1,2 \cdot 10^6)^{0,25}} = 0,02$$

де ξ_m – критерій опору;

z_m – кількість мішалок на валу.

За значенням параметру E на рис.1 знаходимо параметр розподілення швидкості ψ_1 . Виходячи з графіка: $\psi_1 = 0,2$

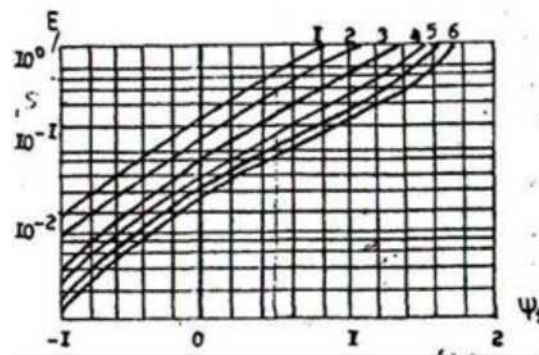


Рисунок 4.3.1 - Параметр розподілення швидкості $\psi_1 = f(E)$ для мішалок: трьохлопатевої (1), турбінної відкритої (3), шестилопатевої (5), лопатевої (6)

За значенням параметру ψ_1 знаходять параметр глибини воронки .

З графіка $B = 10$; $\psi_1 = 0,2$.

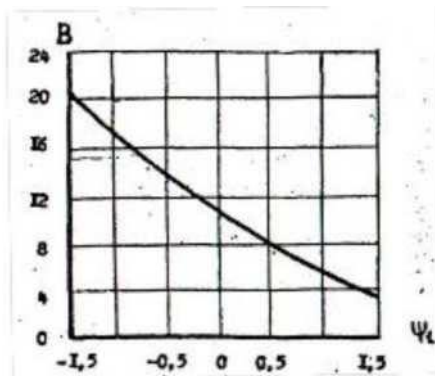


Рисунок 4.3.2 - Параметр глибини воронки $B = f(\psi_1)$

Глибину воронки знаходять за формулою:

$$h_g = \frac{B \cdot n^2 \cdot d_m^2}{2} = \frac{9 \cdot 2,05^2 \cdot 0,9^2}{2} = 15 \text{ м}$$

4.4 Розрахунок геометричних розмірів барботеру

Висота перемішуючого пристрою над барботером становить:

$$h_{\delta} = 0,25 \cdot d_{\text{м}} = 0,25 \cdot 0,9 = 0,225 \text{ м}$$

Діаметр барботеру :

$$D_0 = (0,5 \div 0,75) \cdot d_{\text{м}} \text{ приймаємо } D_0 = 0,75 \cdot 0,9 = 0,675 \text{ м}$$

Діаметр отворів: $d_0 = 5 \text{ мм} = 0,005 \text{ м}$

Кількість отворів у барботері:

$$z_{\text{отв}} = \frac{4 \cdot V_z}{\pi \cdot d_0^2 \cdot W_0 \cdot d_{\text{м}}} = \frac{4 \cdot 2100}{3,14 \cdot 0,005^2 \cdot 30 \cdot 3600} = 990 \text{ отворів}$$

Кількість отворів в одному ряду:

$$z_{\text{отв}_1} = \frac{\pi \cdot D_0}{t_{\text{отв}}} = \frac{3,14 \cdot 0,675}{0,015} = 141 \text{ отвір}$$

Приймаємо відстань між отворами $t_{\text{отв}} = 0,015 \text{ м}$.

Сумарна площа поперечного перерізу отворів барботера:

$$S_{\text{отв}} = \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 \cdot z_{\text{отв}} = \frac{3,14}{4} \cdot 0,005^2 \cdot 990 = 0,0194 \text{ м}^2$$

Розрахунок потужності, що витрачається на перемішування.

Потужність, що витрачається на перемішування:

$$N_{\text{м}} = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_{\text{м}}^5 = 7 \cdot 1070 \cdot 2,05^3 \cdot 0,9^5 = 38 \text{ кВт}$$

При розрахунку потужності привода мішалки необхідно врахувати потужність, що витрачається в ущільненні валу мішалки та на подолання опору внутрішніх пристроїв реактора.

Потужність, яка витрачається при подвійному торцевому ущільненні:

$$N_{\text{ущ}} = 6020 \cdot d_{\text{в}}^{1,3} = 6020 \cdot 0,1053^{1,3} = 322,6 \text{ Вт}$$

Остаточна величина потужності $N_{\text{ел}}$ привідного електродвигуна мішалки розраховують за формулою:

$$N_{\text{ел}} = \frac{K_n K_N \cdot \Sigma K_i \cdot N + N_{\text{ущ}}}{\eta} = \frac{1,25 \cdot 7 \cdot 2,2 \cdot 38\,000 + 322,6}{0,9} = 262 \text{ кВт}$$

Так як апарат без перегородок, то приймаємо $K_n=1,25$.

$\Sigma K_i = 1,1(\text{термометр}) + 1,1(\text{пристрій для вимірювання рівня рідини}) = 2,2$.

4.5 Тепловий розрахунок

Мета проведення теплового розрахунку полягає в визначення теплового навантаження посівного інокулятора і поверхні теплообміну теплообмінних пристроїв апарату.

В процесах нагрівання (охолодження) середовища в посівних апаратах тепла енергія підводиться (відводиться) теплоносієм, що поступає в теплообмінні пристрої апарата: сорочку .

Теплота, що підводиться до середовища в апараті (нагрівання) або відводиться від нього (охолодження) визначається з рівняння теплового балансу. Розрахунок ведемо за надходженнями та витратами теплової енергії.

Надходження енергії у ферментер для вирощування посівного матеріалу відбувається:

з поживним середовищем:

$$E_{\text{пс}} = M_{\text{с}} \cdot C_{\text{с}} \cdot t_{\text{с}} = \rho_{\text{с}} \cdot V_{\text{р}} \cdot 0,9 \cdot C_{\text{с}} \cdot t_{\text{с}}$$

$$E_{\text{пс}} = 1070 \cdot 70 \cdot 0,9 \cdot 4186,8 \cdot 33 = 9313,6 \text{ МДж}$$

з посівним матеріалом:

$$E_{\text{пм}} = M_{\text{пм}} \cdot C_{\text{пм}} \cdot t_{\text{пм}} = \rho_{\text{пм}} \cdot 0,1 \cdot V_{\text{р}} \cdot C_{\text{пм}} \cdot t_{\text{пм}}$$

$$E_{\text{пм}} = 1070 \cdot 0,1 \cdot 70 \cdot 4186,8 \cdot 33 = 1034,8 \text{ МДж}$$

з повітрям:

$$E_{\text{пов1}} = M_{\text{пов}} \cdot C_{\text{пов}} \cdot t_{\text{пов}} = \rho_{\text{пов}} \cdot V_{\text{г}} \cdot \tau_{\text{пр}} \cdot C_{\text{пов}} \cdot t_{\text{пов}}$$

$$E_{\text{пов1}} = 1,22 \cdot 0,582 \cdot 86\,400 \cdot 1005 \cdot 33 = 2034,5 \text{ МДж}$$

$$V_{\text{г}} = 35 \text{ м}^3/\text{хв.} = 0,582 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\tau_{\text{пр}} = 24 \text{ год} = 86\,400 \text{ с} - \text{тривалість культивування}$$

теплота, що виділяється в результаті дисипації механічної енергії від повітря:

$$E_{\text{дис1}} = N_{\text{м}} \cdot \tau_{\text{пр}} = 38\,000 \cdot 86\,400 = 3283,2 \text{ МДж}$$

теплота, що виділяється в результаті дисипації механічної енергії від повітря:

$$E_{\text{дис2}} = V_{\text{г}} \cdot \Delta p \cdot \tau_{\text{пр}} = V_{\text{г}} \cdot \rho_{\text{с}} \cdot g \cdot H_{\text{р}} \cdot \tau_{\text{пр}}$$

$$E_{\text{дис2}} = 0,582 \cdot 1070 \cdot 9,81 \cdot 7,2 \cdot 86\,400 = 3800 \text{ МДж}$$

теплота від реакції, що протікає в ферментері:

$$E_p = m_{\text{цук}} \cdot r_{\text{цук}} = 674,1 \cdot 16,5 = 0,012 \text{ МДж}$$

$$m_{\text{цук}} = 0,01 \cdot 0,9 \cdot V_p \cdot \rho_c = 0,01 \cdot 0,9 \cdot 70 \cdot 1070 = 674,1 \text{ кг}$$

Сумарна кількість надходжень теплоти у ферментер:

$$\Sigma E_{\text{надх.}} = E_{\text{пс}} + E_{\text{пм}} + E_{\text{пов1}} + E_{\text{дис1}} + E_{\text{дис2}} + E_p$$

$$\Sigma E_{\text{надх}} = 9313,6 + 1034,8 + 2034,5 + 3283,2 + 3800 + 0,012 = 19\,466,12 \text{ МДж}$$

Витрати теплової енергії здійснюються:

з культуральною рідиною:

$$E_k = M_k \cdot C_k \cdot t_k = \rho_k \cdot V_p \cdot C_k \cdot t_k$$

де $c_k = 4050 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ – питома теплоємність культуральної рідини,

$\rho_k = 1085,1 \text{ кг/м}^3$ – густина культуральної рідини,

$$E_k = 1085,1 \cdot 70 \cdot 4050 \cdot 33 = 10\,151,65 \text{ МДж}$$

з повітрям:

$$E_{\text{пов2}} = M_{\text{пов}} \cdot C_{\text{пов}} \cdot t_{\text{пов}} = \rho_{\text{пов}} \cdot V_{\text{г}} \cdot \tau_{\text{пр}} \cdot C_{\text{пов}} \cdot t_{\text{пов}}$$

$$E_{\text{пов2}} = 1,22 \cdot 0,582 \cdot 86\,400 \cdot 1005 \cdot 33 = 2034,5 \text{ МДж}$$

втррати теплоти в навколишнє середовище при нагріванні:

$$E_{\text{втр}} = 0,02 (E_k + E_{\text{пов2}}) = 0,02 (10\,151,65 + 2034,5) = 243,7 \text{ Дж}$$

$$= 0,000243 \text{ МДж}$$

Сумарні витрати становлять:

$$\Sigma E_{\text{витрат}} = E_k + E_{\text{пов2}} + E_{\text{втр}} = 10\,151,65 + 2034,5 + 0,00024 = 12\,186,15 \text{ МДж}$$

Теплове навантаження у ферментері становить:

$$E_T = \Sigma E_{\text{витрат}} - \Sigma E_{\text{надх}} = 12\,186,15 - 19\,466,12 = -7279,97 \text{ МДж}$$

Тобто у посівному апараті відбувається нагрівання ($E_T < 0$), отже для підтримання температури культивування необхідно його охолоджувати.

$$Q = |E_T| = 7279,97 \text{ МДж}$$

$$Q = M_T \cdot C_t \cdot (t_{\text{ТП}} - t_{\text{ТК}})$$

					ЕКБ.БЕ7117.ДП	51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Звідки:
$$M_T = \frac{Q}{C_T \cdot \Delta t_T}$$

де $c_T = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ – питома теплоємність теплоносія,

$\Delta t_T = 12^\circ\text{C}$ – різниця між початковою та кінцевою температурами теплоносія,

$$M_T = \frac{7279,97 \cdot 10^6}{4200 \cdot 12} = 1,4 \cdot 10^5 \text{ кг}$$

Масові витрати теплоносія:

$$G_T = \frac{M_T}{\tau_{\text{пр}}} = \frac{1,4 \cdot 10^5}{86\,400} = 1,67 \text{ кг/с}$$

Для визначення поверхні теплообміну необхідно знайти коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія у сорочці та від середовища у посівному апараті та коефіцієнт теплопередачі.

Для розрахунку коефіцієнту тепловіддачі від середовища до стінки визначаємо:

Критерій Нуссельта визначаємо з критеріального рівняння:

$$Nu = 0,35 \cdot Re_c^{0,67} \cdot Pr_c^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu_c}{\mu_{CT}} \right)^{0,14}$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re_c = \frac{d_M}{\nu_c} \cdot (nd_M + 4W_\Gamma)$$

$$W_\Gamma = \frac{4V_\Gamma}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 0,582}{3,14 \cdot 3,6^2} = 0,0572 \text{ м/с}$$

$$Re_c = \frac{0,9}{6,17 \cdot 10^{-7}} \cdot (2,05 \cdot 0,9 + 4 \cdot 0,0572) = 838\,114,425$$

$\nu_c = 6,17 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ – кінематична в'язкість середовища.

Критерій Прандтля:

$$Pr_c = \frac{\mu_c \cdot C_c}{\lambda_c} = \frac{0,613 \cdot 10^{-3} \cdot 4115}{0,3631} = 6,95$$

$$Nu_c = 0,35 \cdot (838\,114,425)^{0,67} \cdot (6,95)^{0,33} = 6173,33$$

Коефіцієнт тепловіддачі від культуральної рідини у ферментері становить:

$$\alpha_c = \frac{Nu_c \cdot \lambda_c}{D}$$

$$\alpha_c = \frac{6173,33 \cdot 0,3631}{3,6} = 622,65 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$\lambda_c = 0,3631 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ – коефіцієнт теплопровідності середовища
Коефіцієнт тепловіддачі від стінки апарату до води:

$$\alpha_T = \frac{Nu_2 \cdot \lambda}{H_p}$$

$$\text{де } Nu_2 = C \cdot (Gr \cdot Pr)^a$$

$$Gr \cdot Pr = H_{руб}^3 (t_{ст} - \theta_{стр}) \cdot B$$

$$B = 12,5 \cdot 10^9;$$

$$\theta_{стр} = 16^\circ\text{C}.$$

$$Gr \cdot Pr = 7,2^3 \cdot (33 - 16) \cdot 12,5 \cdot 10^9 = 7,93 \cdot 10^{13}$$

Висоту рубашки приймаємо рівній висоті рівня рідини. Оскільки добуток $Gr \cdot Pr > 10^9$, то коефіцієнти у формулі для визначення критерія Нуссельта мають такі значення: $C = 0,15$, $a = 0,33$, отже:

$$Nu_2 = 0,15 \cdot (7,93 \cdot 10^{13})^{0,33} = 5792,67$$

$$\alpha_T = \frac{5792,67 \cdot 0,609}{7,2} = 490 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт теплопередачі становить:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_c} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_T}}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{622,65} + \frac{0,014}{16} + \frac{1}{490}} = 221,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Площа поверхні теплообміну ферментера:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{ср} \cdot \tau_{пр}}$$

$$F = \frac{7279,97 \cdot 10^6}{221,15 \cdot 16 \cdot 86\,400} = 25,4 \text{ м}^2$$

Максимальна площа поверхні, яка є в ферментері:

$$F_{max} = \pi D H_c = 3,14 \cdot 3,6 \cdot 6,22 = 70 \text{ м}^2$$

Необхідна площа поверхні теплообміну дорівнює $F = 25,4 \text{ м}^2$, а максимальна площа поверхні, яка є в ферментері дорівнює $F_{max} = 70 \text{ м}^2$.

Висновок: Отже, поверхня теплообміну, що є в апараті достатня для того, щоб відводити тепловий потік $Q_{\text{вод}} = 7279,97 \text{ МВт}$.

4.6 Вибір загальнозаводського обладнання

Важливим етапом є здійснення розрахунку та підбору обладнання для підтримання постійного потоку рідини в проектуваному апараті. Для забезпечення цього процесу використовують насоси.

Основними типами насосів, які використовуються у теплотехнічних процесах є центробіжні, осьові та поршневі насоси. Найчастіше у біотехнологічній промисловості використовують центробіжні насоси.

При проектуванні виникає необхідність вибору насосу з потужністю, якої буде вистачати для транспортування рідини з відомою витратою.

Розрахунок здійснюється за методикою [41].

Припустимо, що з апарату в збірник розчин подається за 1 год. Тоді об'ємна витрата рідини:

$$V = \frac{V_p}{3600} = \frac{70}{3600} = 0,019 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

Розрахунок швидкості руху рідини:

$$W_p = \frac{V}{S} = \frac{0,019}{0,00785} = 2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

Коефіцієнт тертя λ для турбулентного режиму:

$$Re_p = \frac{W_p \cdot d \cdot \rho_p}{\mu_p} = \frac{2,4 \cdot 0,1 \cdot 992,19}{0,613 \cdot 10^{-3}} = 388\,459,4$$

ρ_p – густина речовини при 33 °С.

$$\lambda_p = \frac{0,3165}{Re^{0.25}} = \frac{0,3165}{388\,459,4^{0.25}} = 0,0126.$$

Втрати напору:

$$h_{\pi} = \left(\lambda_p \cdot \frac{L}{d} + \sum \xi \right) \frac{W_p^2}{2g}$$

де L - довжина труб;

$\sum \xi$ – сума коефіцієнтів місцевого опору потоку в трубному просторі. $\sum \xi = 2 \cdot \xi_{\text{тр}1} + 2 \cdot \xi_{\text{тр}3} + 2 \cdot \xi_{\text{тр}4} + 2 \cdot \xi_{\text{тр}2}$, де $\xi_{\text{тр}1} = 0,09$ – плавний відвід круглого перерізу; $\xi_{\text{тр}2} = 0,5$ – вхід в труби; $\xi_{\text{тр}3} = 1,0$ – вихід з труб; $\xi_{\text{тр}4} = 4,1$ – опір вентеля.

$$\sum \xi_{\text{м.с.}} = 2 \cdot 1,0 + 2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,09 + 2 \cdot 4,1 = 11,28$$

$$h_{\text{п}} = \left(0,0126 \cdot \frac{3,0}{0,1} + 11,28 \right) \frac{2,4^2}{2 \cdot 9,81} = 0,16 \text{ м.}$$

Напір визначається за формулою:

$$H = \frac{p}{\rho g} + H_{\text{р}} + h_{\text{п}} = \frac{0,1 \cdot 10^6}{992,19 \cdot 9,81} + 6,22 + 0,16 = 16,65 \text{ м;}$$

де p – тиск в апараті, $H_{\text{р}}$ – геометрична висота підйому рідини, $h_{\text{п}}$ – втрати напору.

Корисна потужність насоса:

$$N_{\text{п}} = \rho g H G = 992,19 \cdot 9,81 \cdot 16,65 \cdot 0,0021 = 252,23 \text{ Вт} = 0,34 \text{ кВт.}$$

Потужність, яку має розвивати електронасос на вихідному валу при установленому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{н}} \eta_{\text{п}}} = \frac{0,34}{0,5 \cdot 1} = 0,68 \text{ кВт.}$$

де $\eta_{\text{н}}$ – ккд насоса, приймаємо для центробіжного $\eta_{\text{н}} = 0,5$;

$\eta_{\text{п}}$ – ккд передачі від електропривода до насоса, у центробіжних насосах вал електродвигуна безпосередньо з'єднується з валом насоса, тому $\eta_{\text{п}} \approx 1$.

Потужність, яку споживає двигун від мережі при $\eta_{\text{дв}} = 0,7$:

$$N = \frac{N_{\text{дв}}}{\eta_{\text{дв}}} = \frac{0,68}{0,7} = 0,97 \text{ кВт}$$

Враховуючи коефіцієнт запасу потужності $\beta = 2$, встановимо двигун потужністю:

$$N_{\text{уст}} = N \cdot \beta = 0,97 \cdot 2 = 1,94 \text{ кВт}$$

За значенням потужності установки та напору насос приймається за таблицею [42].

					ЕКБ.БЕ7117.ДП	55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, за найближчим номінальним значенням потужності обираємо електродвигун типу 4А80А2 для центробіжного насосу марки К8/18 з параметрами:

Об'ємна витрата $Q - 8 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$.

Напір $H - 18 \text{ м.}$

Кількість обертів $n - 2900 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$.

					ЕКБ.БЕ7117.ДП	56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

5.1 Охорона праці та техніка безпеки

При виробництві спирту на працюючих можуть впливати такі небезпечні і шкідливі виробничі фактори як: знижена або підвищена температура повітря робочої зони; підвищена вологість повітря в мийному відділенні; підвищена запиленість повітря робочої зони при подачі і подрібненні сировини; підвищені рівні шуму і вібрації при очищенні і подрібненні сировини; підвищена загазованість повітря робочої зони вуглекислим газом (двоокисом вуглецю) в бродильному відділенні, а також в бродильному апараті; підвищена загазованість повітря робочої зони парами спирту в брагоректифікаційному, зливному відділеннях і в спиртосховищі; хімічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори (кислоти, луги, формалін, хлорне вапно і ін.), дратівливі, токсичні, канцерогенні. Проаналізувавши шкідливі та небезпечні фактори виробництва біоетанолу, проєктом передбачено заходи для забезпечення безпечних умов праці та пожежної безпеки [43].

5.1.1 Повітря робочої зони

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 працівники виконують роботу категорії середньої важкості ІІб, працівники лабораторії виконують роботу категорії легкої важкості Іб, роботи в цеху відносяться до категорії Іа [43].

Нормалізація несприятливих мікрокліматичних умов здійснюється за допомогою комплексу заходів та способів, які включають: будівельно-планувальні, організаційно-технологічні, санітарно-технічні та ін. заходи колективного захисту. Для профілактики перегрівань та переохолоджень робітників використовуються засоби індивідуального захисту, медико-біологічні тощо.

					ЕКБ.БЕ7117.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Романюк О.М.			ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівн.		Казар М.Ю.					57	
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікарського, ФБТ, БЕ-71		
Конс.								
Затверд.		Казар М.Ю.						

У виробничих приміщеннях з надлишком тепла використовують природну вентиляцію. Аераційні ліхтарі та шахти розташовують безпосередньо над основними джерелами тепла на одній осі. У разі неможливості або неефективності аерації встановлюють механічну загальнообмінну вентиляцію [44].

Вимірювання параметрів мікроклімату проводяться на робочих місцях і в робочій зоні на початку, в середині та в кінці робочої зміни. При коливаннях мікрокліматичних умов, пов'язаних з технологічним процесом та іншими причинами, вимірювання проводяться з урахуванням найбільших і найменших величин термічних навантажень протягом робочої зміни.

5.1.2 Виробниче освітлення

Згідно з ДБН В.2.5.28-06, розряд робіт за зоровими умовами відноситься до VIIа (загальне постійне спостереження за ходом виробничого процесу) .

Проектом передбачається у приміщенні виробничого цеху використовувати систему штучного комбінованого освітлення. Для освітлення виробничих приміщень передбачено використання люмінесцентних ламп ЛД-80.

Передбачено використання вологонепроникних та вибухобезпечних закритих світильників ВЗГ/В4А-200М переважно прямого світла. Передбачається система аварійного освітлення. Найменша освітленість робочих поверхонь при аварійному режимі повинна складати не менше 2 лк усередині будівель та не менше 1 лк на відкритих ділянках [45].

5.1.3 Електробезпека

Основними причинами ураження електричним струмом у цеху з виробничим обладнанням є випадковий дотик до відкритих струмопровідних частин обладнання, які знаходяться під напругою, або до частин, що проводять електричний струм при порушенні електроізоляції, також ураження кроковою напругою та через електричну дугу, статична електрика. Безпека експлуатації

електрообладнання досягається системою організаційних і технічних засобів, які забезпечують безпеку в нормальному режимі роботи електроустановок та в аварійному їх стані. Серед них колективними засобами захисту є [46]:

- занулення;
- електроізоляція;
- малі напруги (≤ 42 В);
- подвійна ізоляція.

5.1.4. Пожежна безпека

Причинами загорання і вибуху на виробництві можуть бути:

- порушення герметичності бродильних чанів, ректифікаційних колон та комунікацій;
- прямий удар блискавки або занесення її високого потенціалу у приміщення по видовжених елементах;

Для забезпечення пожежної безпеки передбачено виготовити вибухобезпечними згідно з ДСТУ Б В.2.5-82:2016, ДСТУ 7237:2011 та НПАОП 40.1-1.32-01 штучне освітлення, електрокомунікації, електричне обладнання та електричне устаткування.

Пожежна безпека входить в комплекс заходів з охорони праці, і організаційна робота в цій сфері на об'єктах господарювання включає широкий спектр заходів, а саме [47]:

- створення умов для безпечної праці;
- мінімізація ризику виникнення пожеж;
- своєчасне і повноцінне забезпечення технічними засобами для запобігання займання і усунення самих пожеж та їх наслідків;
- контроль дотримання протипожежних вимог і норм законодавства;
- розробка і впровадження регламентів по гасінню пожеж, евакуації і порятунку з місць пожежі і задимлення людей і майна (матеріальних цінностей).

5.1.5 Захист від шуму та вібрацій

Вібрація відноситься до факторів, що володіють значною біологічною активністю. Характер, глибина і спрямованість функціональних зрушень з боку різних систем організму визначаються насамперед рівнем, спектральним складом і тривалістю впливу вібрації.

Погіршення стану здоров'я персоналу, обумовлені локальною або загальною вібрацією, складаються з ураження нейросудинної, нервово-м'язової систем, опорно-рухового апарату, змін обміну речовин та ін. При всіх видах вібраційної хвороби нерідко спостерігаються зміни з боку центральної нервової системи, які пов'язані з комбінованою дією вібрації і інтенсивного шуму, який супроводжується вібраційними процесами [48].

Комплекс профілактичних заходів, що знижують рівні вібрації обладнання, скорочують час контакту з ними і обмежують вплив несприятливих супутніх чинників виробничої сфери включають гігієнічне нормування, організаційно-технічні та лікувально-профілактичні заходи. Основним документом, який регламентує параметри виробничих вібрацій, є СанПіН 2.2.4.3359-16 «Санітарно-епідеміологічні вимоги до фізичних факторів на робочих місцях».

Основними методами та засобами захисту від вібраційного навантаження є [49]:

- усунення безпосереднього контакту з вібруючим обладнанням шляхом застосування дистанційного управління, промислових роботів, автоматизації;
- зменшення інтенсивності вібрації безпосередньо в джерелі;
- застосування активної і пасивної віброізоляції;
- раціональна організація режиму праці та відпочинку;
- створення комплексних бригад з постійною заміною один одного;
- використання засобів індивідуального захисту;

- організація активної диференційованої диспансеризації працівників вібронезбезпечних професій.

5.2 Охорона довкілля

Виробництва, пов'язані з переробкою рослинної сировини, в тому числі переробка її в спирт, включаючи виробництво біоетанолу, значною мірою залишаються небезпечними для навколишнього середовища. За ступенем інтенсивності взаємодії спиртової промисловості з довкіллям серед об'єктів природи, які забруднюються, перше місце займають водні ресурси, а також повітря та ґрунти [50].

Згідно з ДСН 173196 промислові виробництва мають бути розташовані у складі промислових вузлів, групуючи їх за санітарними і технологічними ознаками з урахуванням класу небезпеки, впливу на здоров'я і умови життя населення. Також необхідно враховувати загальний вплив на довкілля всіх підприємств, розташованих в промисловому вузлі.

На сьогодні екологічною проблемою в виробництві біоетанолу є утилізація відходів та побічних продуктів, що утворюються на різних етапах виробництва. До таких продуктів відносять діоксид вуглецю, який виділяється при спиртовому бродінні; тверді відходи, які утворюються при очистці сировини, гідролізний лігнін, який виділяють з гідролізного апарату та стічні води [51].

Для запобігання викидів діоксиду вуглецю в атмосферу пропонується вловлювати його в установках для зрідження, щоб отримати товарний вигляд рідкої вуглекислоти, яка буде мати користь як побічний продукт виробництва.

Тверді мінеральні відходи необхідно збирати в бункері та періодично, по мірі накопичення, відвозити на відвали.

Гідролізний лігнін, який не використовується у виробництві, можна використовувати як паливо для котлів, оскільки він володіє високою теплотворною здатністю. Утворений лігнін застосовують у хімічній та

будівельній промисловості в цегловому та цементному виробництві, а також для виготовлення лігноволокнистих плит.

До основних джерел утворення виробничих стічних вод відносять мийку, дезінфекцію обладнання та лютерну воду, яку утворюється в процесі ректифікації спирту. Система водопостачання промислових підприємств повинна передбачати оборотне водопостачання, тобто повторне використання після відповідного їх очищення.

Процес спиртового виробництва передбачає також технологічні процеси із застосуванням горючих продуктів, які здатні створювати вибухонебезпечні суміші з повітрям. Такі процеси повинні бути здійсненні в герметичному технологічному обладнанні, що буде виключати можливість утворення цих речовин з великими концентраціями в навколишньому середовищі. Робота з такими процесами повинна бути забезпечена системами автоматичного регулювання, а також системою контролю параметрів, які будуть визначати вибухонебезпечність процесу.

ВИСНОВКИ

В дипломному проєкті було обрано та обґрунтовано технологію виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини, а саме – відходів кукурудзяної промисловості, за допомогою *Zygomonas mobilis*. Технологія передбачає виробництво біоетанолу з випуском продукту 15 000 т на рік.

Наведено характеристику та проаналізовано різні види целюлозовмісної сировини, яка використовується для виробництва біоетанолу. Для даної роботи було обрано кукурудзяні відходи, оскільки ця сировина має ряд переваг, такі як: доступність майже на всій території України; низький вміст лігніну та інших пентозанів, які обрані мікроорганізми не здатні використовувати у своєму живленні, що полегшує процес попередньої обробки сировини.

Здійснено аналіз існуючих технологій виробництва біоетанолу. Обрано технологію ферментативного гідролізу для попередньої обробки сировини з метою розкладання целюлози до моноцукрів, а саме – глюкози, з подальшою стадією зброджування безперервним методом, очищення в ректифікаційній колоні та зневоднення етанолу для отримання спирту бажаної концентрації.

Проведено технологічні розрахунки процесу та виробничого ферментера для зброджування сировини. Обрано ферментер з механічний перемішуючим пристроєм – турбінною мішалкою та барботером, об'ємом 100 м³, діаметром 3,6 м за ГОСТ 20680-2002 «Аппараты с механическими перемешивающими устройствами. Общие технические условия». Розроблено креслення виробничого ферментера. Розраховано матеріальний баланс виробництва.

Розроблено технологічну схему з урахуванням стадій: санітарної підготовки виробництва, приготування теплоносіїв, попередня обробка сировини, приготування посівного матеріалу та поживного середовища для біологічного агенту, культивування біологічних агентів, ферментативний гідроліз сировини, бродіння, очищення біоетанолу в ректифікаційній колоні та

					ЕКБ.БЕ7117.ДП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Романюк О.М.						
Перевір.		Козар М.Ю.						
Реценз.								
Н. Кантр.								
Затверд.		Козар М.Ю.						
							Літ.	Арк.
								63
							КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-71	

зневоднення спирту, а також стадії розливу, пакування, маркування готової продукції та знешкодження відходів.

Згідно розробленої технологічної схеми накреслено апаратурну схему з зазначеним основним і додатковим обладнанням, а також контрольно-вимірювальних приладів.

В проєкті наведено основні заходи щодо охорони праці та захисту довкілля при виробництві біоетанолу.

					<i>ЕКБ.БЕ7117.ДП</i>	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пристая О. Д. Регуляторні передумови, ресурсний потенціал та техніко-економічні перспективи енергетичного використання та її відходів на Україні / О. Д. Пристая. // Держкомлісгосп України. Науковий вісник НЛТУ України. – 2010. – №20.5. – С. 94–100.

2. Рослинництво України 2020. Статистичний збірник Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

3. КЛИМЧУК О.В. ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ВИКОРИСТАННЯ КУКУРУДЗИ В БІОЕНЕРГЕТИЦІ // НАУКОВІ ПРАЦІ ІНСТИТУТУ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ. 2013. Vol. 18. P. 150–154.

4. Kumar D. Bioethanol Production From Corn / D. Kumar, V. Singh. // Department of Agricultural and Biological Engineering. – 2019. – №22. – С. 615–631.

5. Ethanol production from hexoses, pentoses, and dilute-acid hydrolyzate / Sues A. [et al] // FEMS, 2005. – V.5. – P.669 – 676.

6. Холькин Ю. И. Технология гидролизных производств. Учебник для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 496 с.

7. Циркина О. Г. Физика и химия полимеров. Методические указания к проведению лабораторного практикума для студентов всех специальностей / О. Г. Циркина, В. Р. Ополовников. – Иваново, 2009. – 44 с.

8. Гусаков А. В. ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ. ИНАКТИВАЦИЯ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ФЕРМЕНТОВ ЦЕЛЛЮЛАЗНОГО КОМПЛЕКСА / А. В. Гусаков, А. П. Сеницын, А. А. Клесов. // БИОХИМИЯ. – №8. – С. 1322–1331.

					ЕКБ.БЕ7117.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Романюк О.М.					65	
Перевір.		Казар М.Ю.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Казар М.Ю.				КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ, БЕ-71		

9. Kumar D. Enzymatic Hydrolysis of Cellulose for Ethanol Production: Fundamentals, Optimal Enzyme Ratio, and Hydrolysis Modeling / D. Kumar, S. Ganti. // New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. – 2016. – №7. – С. 65–78.

10. De Vasconcelos J. N. Ethanol Fermentation / J. N. De Vasconcelos. // Sugarcane Agricultural Production, Bioenergy and Ethanol. – 2015. – №15. – С. 311–340.

11. Lin Y. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects / Y. Lin, S. Tanaka. // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2006. – №69. – С. 627–642.

12. Циклический метод брожения [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: https://nomnoms.info/brozhenie/#Cikliceskij_metod_brozenia.

13. Ballerini D. Ethanol from lignocellulosic materials by a simultaneous saccharification and fermentation process / D. Ballerini, J. Desmarquest, F. Nativel. // Process Biochem. – 2004. – №39. – С. 1843–1848.

14. Ciani M. Fermentation / M. Ciani, F. Comitini, I. Mannazzu. // Encyclopedia of Ecology. – 2013. – №2. – С. 310–321.

15. Справочник по производству спирта. Сырье, технология и теххимконтроль/ В. Л. Яровенко, Б. А. Устинников, Ю. П. Богданов, С.И. Громов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 336 с.

16. Ректификация смеси этилового спирта и воды. Метод. указ. к лабораторной по курсу «Основные процессы и аппараты химической технологии». / Самар. гос. тех. ун-т; Сост. В.В. Филиппов, А.А. Скороход. Самара, 2012. 31 с.

17. Стабников В. Н. Перегонка и ректификация этилового спирта / В. Н. Стабников. – М.: Пищевая промышленность, 1959. – 456 с.

18. Марийе Ш. Перегонка и ректификация в спиртовой промышленности / Ш. Марийе. – 2000. – №10.

19. Ligerо E. L. Dehydration of ethanol with salt extractive distillation—a comparative analysis between processes with salt recovery / E. L. Ligerо, T. M.

Ravagnani. // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. – 2003. – №7. – С. 543–552.

20. Стабников В. Н. АБСОЛЮТИРОВАНИЕ СПИРТА РАСТВОРАМИ СОЛЕЙ (СОЛЕВОЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЕ) / В. Н. Стабников. // Перегонка и ректификация этилового спирта.

21. Chianese A. Ethanol dehydration by azeotropic distillation with a mixed-solvent entrainer / A. Chianese, F. Zinamosca. // The Chemical Engineering Journal. – 1990. – №2. – С. 59–65.

22. Стабников В.Н. Получение абсолютного этилового спирта [Электронный ресурс] / В. Н. Стабников – Режим доступа до ресурсу: http://www.sergeyosetrov.narod.ru/Projects/Bioethanol/Production_of_the_absolute_alcohol.htm.

23. KORI L. D. ENGINEERING ZYMOMONAS MOBILIS FOR THE PRODUCTION OF BIOFUELS AND OTHER VALUE-ADDED PRODUCTS : дис. докт. хім. наук / KORI Lynn Dunn, 2015. – 160 с.

24. Yang S. Zymomonas mobilis as a model system for production of biofuels and biochemicals / S. Yang, M. Himmel, S. Brown. // Microbial Biotechnology. – 2016. – №9. – С. 699–717.

25. Choi G. Ethanol Production by Zymomonas mobilis CHZ2501 from Industrial Starch Feedstocks / G. Choi, H. Kang. // Biotechnology and Bioprocess Engineering. – 2008. – №13. – С. 765–771.

26. ВИРОБНИЦТВО СПИРТУ ЕТИЛОВОГО ТЕХНІЧНОГО З НЕХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://lektsii.org/5-40839.html>.

27. Zhang Y. Toward an Aggregated Understanding of Enzymatic Hydrolysis of Cellulose: Noncomplexed Cellulase Systems / Y. Zhang, L. R. Lynd. // Biotechnology and Bioengineering. – 2004. – №88. – С. 797–824.

28. Zhang Y. H. Outlook for cellulase improvement: Screening and selection strategies / Y. H. Zhang, M. E. Himmel, J. R. Mielenz. // Biotechnology Advances. – 2006. – №24. – С. 452–481.

29. Sathitsuksanohn N. Solvent fractionation of lignocellulosic biomass / N. S A T H I T S U K S A N O H, Z. Zhu, J. Rollin. // Bioalcohol Production . – 2010. – С. 122–140.

30. De Souza W. R. Microbial Degradation of Lignocellulosic Biomass / W. R. De Souza. – 2013. – №9. – С. 207–247.

31. Zhang Y. H. A Functionally Based Model for Hydrolysis of Cellulose by Fungal Cellulase / Y. H. Zhang, L. R. Lyng. // Biotechnology and Bioengineering . – 2006. – №94. – С. 888–898.

32. Yang B. Enzymatic hydrolysis of cellulosic biomass / B. Yang, D. Ziyu. – 2011. – №2. – С. 421–449.

33. Sinitsyn A. P. Effect of Structural and Physico-Chemical Features of Cellulosic Substrates on the Efficiency of Enzymatic Hydrolysis / A. P. Sinitsyn, A. V. Gusakov, E. Y. Vlasenko. // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 1991. – №30. – С. 43–59.

34. Sannigrahi P. Effects of organosolv pretreatment and enzymatic hydrolysis on cellulose structure and crystallinity in Loblolly pine / P. Sannigrahi, S. J. Miller, A. J. Ragauskas. – 2010. – №345. – С. 965–970.

35. Спиртове бродіння [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://studopedia.com.ua/1_8641_utvorennya-etanolu-drizhdzhami.html.

36. Rutkis R. Kinetic modeling of Zymomonas mobilis Entner-Doudoroff pathway: insights into control and functionality. / R. Rutkis, U. Kalnenieks, E. Stalidzans. // Microbiology. – 2013. – №159. – С. 2674–2689.

37. Modeling of *Zymomonas mobilis* central metabolism for novel metabolic engineering strategies / U.Kalnenieks, A. Pentjuss, R. Rutkis, E. Stalidzans. // *Frontiers in Microbiology*. – 2014. – №5. – С. 7.

38. Chen L. Alternative fuels for IC engines and jet engines and comparison of their gaseous and particulate matter emissions / L. Chen, K. Gao, C. Zhang. // *Advances Biofuels*. – 2019. – №2. – С. 17–64.

39. Боуден Б. С. Этиловый спирт // Химическая энциклопедия : в 5 т. / Гл. ред. Н. С. Зефирова. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. — Т. 5: Триптофан—Ятрохимия. — С. 501—503. — 783 с.

40. БИОЭТАНОЛ: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ / П. Е.Матковский, Р. С. Яруллин, Г. П. Старцева, И. В. Седов. – 2010. – №720. – С. 95–100.

41. Ружинська Л.І. Проектування реакторів біотехнологічних та фармацевтичних виробництв. Навч. посібник/ Укладачі: Л.І. Ружинська, І А Буртна, В.М.Поводзинський, В.Ю. Шибецький – К.: НТУУ «КПІ», 2014 – 130 с.

42. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене/К.Н.Ткачук, М.О. Халімовський, В.В.Зацарний, Д.В.Зеркалов За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського.-К.: Основа,2006. –С.234.

43. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Чинний від 1999-12-01. Вид. офіц. Київ : 42, 1999.

44. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене/К.Н.Ткачук, М.О. Халімовський, В.В.Зацарний, Д.В.Зеркалов За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського.-К.: Основа,2006. –С.234.

45. ДБН-В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. Вид. офіц. Київ, 2006. 96 с.

46. ДНАОП 1.1.10-1.07-01. Правила експлуатації електрозахисних засобів. Чинний від 2001-06-05. Вид. офіц. Київ, 2001.

47. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 "Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою".

48. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Чинний від 1999-12-01. Вид. офіц. Київ : 39, 1999.

49. Наказ 26.09.2018 № 491 "Про затвердження Правил пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України".

50. Долгов А. Н. Основные экологические проблемы при утилизации отходов спиртового производства и пути их решения / А. Н. Долгов, Г. В. Агафонов, Н. В. Зуева. // ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. – 2014. – С. 60–63.

51. Яковлев С.В., Стрелков А.К., Мазо А.А. «Охрана окружающей среды». Учебник. М.: Изд-во АСВ. - 1998. – 180 с.

					ЕКБ.БЕ7117.ДП	70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Специфікація на обладнання

Позиція	Позначення, марка	Найменування, технічна характеристика обладнання	К-ть	Маса, кг	Примітка
Д-1		Об'ємно-ваговий дозатор для реактиву Фентона	1		Збірний
Р-2	ВМ	Реактор для приготування поживного середовища. Місткість 10 м ³ , коефіцієнт заповнення 0,7, внутрішній діаметр 2000 мм, завантаження по трубопроводу, працює при атмосферному тиску. Реактор оснащений турбінною мішалкою.	1		Неірж. сталь 12Х18Н 10Т
Д-3		Об'ємно-ваговий дозатор для мінеральних компонентів поживного середовища	1		Збірний
Пр-5		Пробірки для приготування поживного середовища	3		
К-6		Колби для приготування поживного середовища	3		

					<i>ЕКБ.БЕ7117.ДП</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Романюк О.М.			<i>ДОДАТОК А</i>		
Перевір.		Козар М.Ю.					
Реценз.							
Н. Кантр.							
Затверд.		Козар М.Ю.					
						Літ.	Арк.
							71
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-71	

Т-7	СТА	Теплообмінник розбірний пластинчатого типу на консольній рамі. Поверхня одної пластини 0,5 м ²	1		Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т
Д-9		Об'ємно-ваговий дозатор для поживного середовища	1		Збірний
ФВ-11		Виробничий ферментер для культивування мікроорганізмів, об'ємом 100 м ³	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Д-12		Об'ємно-ваговий дозатор для кільтуральної рідини	1		Збірний
Д-13		Об'ємно-ваговий дозатор для сировини	1		Збірний
Р-14		Реактор для гідролізу	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Д-15		Об'ємно-ваговий дозатор для гідролізату	1		Збірний
ФВ-17		Виробничий ферментер для бродиння, об'ємом 100 м ³	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
С-18		Бражний сепаратор з примусовою циркуляцією. Н – 8690 мм, Dс – 3200 мм	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Ва-19	ВВА	Випарний апарат	1		
Вн-20		Вакуумний насос	1		Збірний
Д-21 Д-25 Д-29		Об'ємно – вагові дозатори для спирту-сирцю	3		Збірний
РК-22		Бражна колона для	1		Неірж.

		ректифікації бражки, обладнана решітчастими тарілками провального типу, обігрівается гострою парою			сталь 12X18H10T
Рк-26		Ректифікаційна колона обладнана решітчастими тарілками провального типу, обігрівается гострою парою, працює при атмосферному тиску.	1		Неірж. сталь 12X18H10T
Рк-30		Метанольна колона, що обладнана решітчастими тарілками провального типу, обігрівается глухою парою.	1		Неірж. сталь 12X18H10T
Рк-33		Дегідратаційна колона	1		Неірж. сталь 12X18H10T
Рк-37		Концентраційна колона	1		Неірж. сталь 12X18H10T
Д-32 Д-36		Об'ємно – вагові дозатори для ректифікованого спирту	2		
КП-2.1 КП-3.1 КП-4.1 КП-12.1 КП-14.1 КП-18.1 КП-21.1 КП-22.1 КП-23.1 КП-26.1 КП-30.1	Flus «IR811»	Прилад для вимірювання температури. Пірометр, діапазон вимірювань від - 50°C до +500°C	14		Збірний

КП-34.1					
КП-37.1					
КП-41.1					
КП-2.2	МП 4-У	Манометр призначений для вимірювання надлишкового тиску неагресивних, рідин, пари, газу. Клас точності - 1; 1,5. Діапазони показань тиску: - газу - від 0 до 600 кгс/см ² (від 0 до 60 МПа); - рідини - від 0 до 1600 кгс/см ² (від 0 до 160 МПа).			
КП-4.2					
КП-14.2					
КП-21.2					
КП-22.2					
КП-23.2					
КП-26.2					
КП-30.2					
КП-34.2					
КП-37.2					
КП-41.2					