

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
Факультет біотехнології і біотехніки  
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Кузьмінський Є.В.

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018р.

## Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія,  
(код і назва)

на тему:

Технологія отримання біоетанолу із целюлозовмісної сировини

Виконав: студент \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_  
(шифр групи)

\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові) \_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_ (назва розділу) \_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (назва розділу) \_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_ (підпис)

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

Факультет біотехнології і біотехніки  
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія,

спеціалізація «екологічна біотехнологія та біоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Кузьмінський Є.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Балацькому Андрію Євгеновичу

1. Тема дисертації «Технологія отримання біетанолу із целюлозовмісної сировини»,

науковий керівник дисертації доцент, к.т.н. Щурська К. О.,

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження: технологія виготовлення біетанолу.

4. Предмет дослідження: целюлозовмісна сировина, як джерело моноцукрів для виготовлення біетанолу.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1) Провести літературний пошук з підбору оптимального штаму мікроорганізмів для зброджування та охарактеризувати біетанол, що отриманий із целюлозовмісної сировини.

2) Обрати та обґрунтувати технологію виготовлення біетанолу; розробити технологічну та апаратурну схеми виробництва біетанолу з целюлозовмісної сировини;

3) Здійснити технологічний розрахунок та запроектувати ферментер з системою автоматизації процесу зброджування моноцукрів;

4) Надати техніко-економічне обґрунтування технології та розрахувати собівартість продукції;

5) Надати основні вимоги охорони праці та захисту навколишнього середовища при виробництві біоетанолу.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Апаратурна схема – А1, Технологічна схема – А1, Ферментер для зброджування моноцукрів. Загальний вид – А1, Схема автоматизації стадії зброджування – А1.

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації

| Розділ                | Прізвище, ініціали та посада консультанта  | Підпис, дата   |                  |
|-----------------------|--|----------------|------------------|
|                       |  | завдання видав | завдання прийняв |
| 5. Автоматизація      | Мельник В.М. зав. Каф., д. т. н., професор |                |                  |
| 6. Економічна частина | Ткаченко Т.П. доцент, к. е. н.             |                |                  |

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації                                      | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|--|--|----------|
| 1.    | Огляд літератури, вибір технології.  |  |          |
| 2.    | Підбір оптимального штаму мікроорганізмів для зброджування моноцукрів.               |  |          |
| 3.    | Розробка технологічної та апаратурної схеми.   |  |          |
| 4.    | Розрахунок та вибір ферментера для процесу зброджування.                             |  |          |
| 5.    | Розробка креслення ферментера.   |  |          |
| 6.    | Розробка системи автоматизації процесу зброджування в ферментері.                    |  |          |
| 7.    | Розрахунок економічної ефективності технології та собівартості продукції.            |  |          |
| 8.    | Огляд техніки безпеки та охорони навколишнього середовища при виробництві біодизеля. |  |          |
| 9.    | Оформлення пояснювальної записки.  |  |          |

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 130 сторінок, 14 рисунків, 19 таблиць, 44 посилання.

Об'єктом розробки є технологія виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини.

Мета: розробка модернізованої технології виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини на базі відомої гідролісної технології.

Розроблено проект технології виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини з метою отримання біопалива, що відповідатиме нормам євростандарту і задовольнить потребу країні у біоетанолі. Технологічна схема базується на зброджуванні гідролізату целюлозовмісної сировини за використання дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, з подальшим виділення біоетанолу з бражки. Новизною проекту є технологічна стадія попередньої обробки сировини реактивом Фентона в водно-органічній суміші розчинників.

Матеріали даної магістерської дисертації можна використовувати при проектуванні підприємств по виробництву спирту, які в якості сировини використовують целюлозовмісні відходи.

Актуальність проекту полягає в вирішенні перш за все енергетичної проблеми – нестачі моторних палив в країні, а також частково економічної і екологічної

БІОЕТАНОЛ, ЕТИЛОВИЙ СПИРТ, ГІДРОЛІЗНА ТЕХНОЛОГІЯ, ЦЕЛЮЛОЗА, РЕАКТИВ ФЕНТОНА, ГІДРОЛІЗ, СПИРТОВІ ДРІЖДЖІ, СПИРТОВЕ БРОДІННЯ, РЕКТИФІКАЦІЯ.

## ABSTRACT

Master's dissertation: pages, figures, tables, sources.

The object of development is technology of bioethanol production from cellulose-containing materials.

Objective: development an improved technology of bioethanol production from cellulose-containing materials based on known hydrolysis technology.

A project of bioethanol production from cellulose-containing materials technology to obtain biofuel that meet the standards of standarts and meet the needs of the country in bioethanol was designed. Technological scheme is based on the fermentation of hydrolyzate from cellulose by *Saccharomyces cerevisiae*, with further receiving of bioethanol by rectification. The novelty of the project is using a new technological stage for cellulose organosolv pretreatment through Fenton reaction.

Materials for this master's dissertation can be used in the projection of ethanol-producing factories, that use cellulose as raw material.

The topicality of the project is primarily a solving of energy problem – lacking of motor fuels in the country, and partly solving economic and environmental problems.

BIOETHANOL, ETHANOL, HYDROLYSIS TECHNOLOGY, CELLULOSE, FENTON REACTION, ORGANOSOLV PRETREATMENT, HYDROLYSIS, YEAST, ETHANOL FERMENTATION, RECTIFICATION.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Вступ.....   | 8  |
| 1. Характеристика сировини, біологічного агенту. Обґрунтування вибору технологічної схеми.....           | 11 |
| 1.1 Характеристика сировини .....  | 11 |
| 1.2 Обґрунтування вибору технології.....   | 13 |
| 1.3 Характеристика біологічного агенту.....  | 30 |
| 2. Біохімічні основи технологічного процесу.....   | 36 |
| 2.1. Схема перебігу процесів отримання біоетанолу з целюлозовмісної сировини.....                        | 36 |
| 2.1.1. Механізм перетворення основних компонентів сировини під час попередньої обробки та гідролізу..... | 37 |
| 2.1.2. Біохімія спиртового бродіння.....   | 41 |
| 2.2. Характеристика кінцевої продукції виробництва.....  | 46 |
| 3 Технологічна частина.....  | 49 |
| 3.1. Сировина та матеріали.....  | 49 |
| 3.2 Опис технологічного процесу виробництва біоетанолу .....   | 50 |
| 3.3 Контроль виробництва біоетанолу .....  | 59 |
| 3.4 Матеріальний баланс.....   | 67 |
| 4. Підбір і розрахунок обладнання.....   | 68 |
| 4.1 Підбір обладнання.....   | 68 |
| 4.2 Конструктивний розрахунок апарата для гідролізу.....   | 69 |
| 4.3 Розрахунок інокулятора.....  | 70 |
| 4.3.1. Розрахунок перемішуючого пристрою інокулятора.....  | 71 |
| 4.3.2. Розрахунок барботеру.....   | 73 |
| 4.3.3. Розрахунок потужності, що витрачається на перемішування.....                                      | 74 |
| 4.4. Конструктивний розрахунок ферментеру для зброджування гідролізату целюлозовмісних відходів.....     | 76 |
| 4.5. Вибір загальнозаводського обладнання.....   | 77 |
| 5. Автоматизація виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини.....                                  | 79 |
| 5.1. Опис технологічного процесу на стадії зброджування.....   | 79 |
| 5.2. Основні рішення по автоматизації.....   | 81 |
| 5.2.1. Технологічний контроль.....   | 81 |
| 5.2.2. Автоматичне регулювання.....  | 82 |
| 5.2.3. Сигналізація та захист.....   | 82 |
| 5.2.4. Специфікація засобів автоматизації.....   | 83 |
| 6. Економічна частина.....   | 86 |

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 6    |

|   |     |
|---|-----|
| 6.1. Техніко-економічне обґрунтування.....  | 86  |
| 6.1.1. Визначення потужності виробництва.....   | 88  |
| 6.1.2. Розрахунок ефективного фонду робочого часу підприємства.....                     | 89  |
| 6.1.3. Розрахунок та побудова графіка ремонтів обладнання.....                          | 90  |
| 6.2. Розрахунок собівартості продукту і вартості проекту.....                           | 92  |
| 6.2.1. Розрахунок капітальних витрат на будівництво нового підприємства.....            | 92  |
| 6.2.2. Розрахунок витрат на сировину, матеріали та електроенергію.....                  | 93  |
| 6.2.3. Розрахунок заробітної плати та експлуатаційних витрат..                          | 94  |
| 6.2.4. Розрахунок собівартості продукції.....   | 96  |
| 6.3. Аналіз техніко-економічних показників.....   | 96  |
| 6.4. Очікуваний ефект від впровадження проектних пропозицій.....                        | 98  |
| 7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....                               | 99  |
| 7.1. Виявлення та аналіз шкідливих та небезпечних факторів. Заходи з охорони праці..... | 99  |
| 7.1.1. Повітря робочої зони.....  | 99  |
| 7.1.2. Виробниче освітлення.....  | 101 |
| 7.1.3. Захист від виробничого шуму та вібрацій.....                                     | 102 |
| 7.1.4. Електробезпека.....  | 102 |
| 7.1.5. Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання.....                 | 104 |
| 7.2. Пожежна безпека.....   | 106 |
| 8. Охорона довкілля.....  | 107 |
| Висновки.....   | 109 |
| Перелік використаних джерел.....  | 111 |
| Додаток А.....  | 115 |
| Додаток Б.....  | 125 |
| Додаток В.....  | 129 |

## ВСТУП

Енергетична проблема є однією з найбільш гострих у світі. Темпи розвитку економіки, ріст потреб населення вимагає все більшої кількості традиційних енергоносіїв, що мають тенденцію до вичерпання. Тому більшість країн шукають рішення цієї проблеми шляхами збільшення частки альтернативних видів палива з поновлюваних джерел сировини. Одним з таких видів палива, що має перспективу є біоетанол. Його використання в сумішах покращує властивості палива, а також зменшує негативний вплив згоряння на навколишнє середовище. Потенційна можливість його успішного використання зумовлює ріст його виробництва серед багатьох країн [1].

Вирішити значну частину паливних проблем і зменшити енергозалежність країни дозволить широке впровадження виробництва біоетанолу. Оптимальний обсяг споживання біоетанолу для України становить 250-300 тис. т/рік [1]. При налагодженні виробництва біоетанолу, окрім вирішення паливних проблем, буде забезпечено виробничу потужність спиртових заводів, які працюють сьогодні на 40%, також буде забезпечено аграрні регіони великим замовленням на сировину, що приведе до створення нових робочих місць, зайнятості, підйому економіки аграрного сектору [2].

Також увагу слід приділити і сировині для виробництва біоетанолу. В Україні тільки від вирощування кукурудзи утворюється 2,0 – 4,0 млн т целюлозовмісних відходів, що в кращому разі спалюються, а іноді просто згнивають. А потенційний ресурсний потенціал таких відходів в Україні оцінюється приблизно в 5,0 – 6,0 млн т за рік [3]. Така кількість відходів задовольнить потребу заводів, що вироблятимуть біоетанол з целюлози, у сировині, збільшуючи ефективність використання ресурсів країни, а також сприятиме покращенню екологічної ситуації, що з екологічними перевагами використання біоетанолу, буде мати позитивний ефект на екологію України.

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.007 МД</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                             | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |



Технології виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини відомі і використовуються в промислових масштабах. Проте пошук, розробка або вдосконалення методів гідролізу сировини, мікробіологічного синтезу або методів очистки спирту дозволить збільшити вихід продукту, зменшити кількість відходів виробництва, зменшити собівартість біоетанолу і зробити його більш привабливим на ринку енергетичних ресурсів.

Виробництво біоетанолу з целюлозовмісної сировини сприятиме вирішенню, перш за все, енергетичних проблем, а також економічних та екологічних проблем країни, що зумовлює актуальність проекту. Впровадження виробництва біоетанолу і використання його як добавки для палива в значній мірі задовольнить Україну у потребі моторних палив. Також це сприятиме ефективному використанню ресурсів країни, в першу чергу біоресурсів, і розвитку енергетичної галузі та сільськогосподарської промисловості.

Стадія гідролізу є дуже важливою при отриманні біоетанолу, оскільки на ній відбувається отримання сировини для подальшого зброджування - моноцукрів. Підбір оптимальних характеристик процесу дуже важливий, оскільки від них залежить безпосередній вихід кінцевого продукту загального технологічного процесу – біоетанолу. Для забезпечення високих показників виходу продукту необхідно очистити целюлозу від шарів лігніну та геміцелюлози, які є заважаючими компонентами для подальшого гідролізу. Крім того, важливо відділити лігнін від основної суміші, тому що він є шкідливою домішкою для подальшої обробки. Основним методом вивільнення целюлози є попередня обробка сировини, що проводиться за допомогою різних фізико-хімічних методик.

Новизною дисертації є пропозиція використати для попередньої обробки сировини змішану технологію, яка представляє собою розчинення сировини в суміші води з органічним розчинником - диметилсульфоксидом та обробку реактивом Фентона – перекисом водню з хлоридом Феруму (III).

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.007 МД</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                             | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

Метою є модернізація технологічної схеми виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини.

**Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання:**

1. Провести аналіз існуючих технологій виробництва біоетанолу, навести основні характеристики сировини та біологічного агенту.
2. Обґрунтувати вибір технологічної схеми виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини.
3. Здійснити технологічні розрахунки та підібрати обладнання для виробництва біоетанолу. Розрахувати матеріальний баланс процесу.
4. Розробити технологічну та апаратурну схеми виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини та схему автоматизації стадії зброджування.
5. Здійснити розрахунок економічної доцільності проекту.
6. Надати основні вимоги з охорони праці та захисту довкілля при виробництві біоетанолу.

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.007 МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 10   |

# 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТУ. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

## 1.1. Характеристика сировини

Щороку в Україні виробництво кукурудзи становить близько 20,0 млн т. і передбачає утворення залишків – кукурудзяних стрижнів, які, зазвичай, не використовуються, а спалюються чи згнивають. Порівняно з 2000 роком, виробництво кукурудзи в 2017 році зросло майже в 6,5 разів (від 3,8млн. т до 24,7млн. т). В деякі роки виробництво кукурудзи займало перше місце серед усіх аграрних культур, перевищуючи за обсягами валового виробництва навіть пшеницю, яка протягом багатьох років була лідером галузі. Відомо, що в загальній масі кукурудзяного качана, приблизно 80% займає зерно, а 20% маси – це стрижні, тобто відходи. Ресурсний потенціал таких відходів виробництва кукурудзи може оцінюватися приблизно в 3,0 – 4,0 млн т. за рік. Таким чином, враховуючи щорічне зростання обсягів виробництва кукурудзи, потенційні ресурсні можливості біомаси відходів в Україні за умови повного використання може бути оцінено в обсягах 5 – 6 млн т[3]. Така висока оцінка ресурсного потенціалу може повністю задовольнити потреби сировини для виробництва біоетанолу і сприятиме розвитку сільськогосподарської та харчової промисловості України. В порівнянні з деревинною сировиною, яка присутня тільки в лісистих регіонах України, таких як Полісся і Карпати, використовувати сировину з відходів виробництва кукурудзи для виробництва біоетанолу є можливість в усіх регіонах України.

Вихід біоетанолу залежить від вмісту в сировині целюлози та інших гексозанів. Оскільки саме з них утворюється біоетанол, то чим вище їх вміст в сировині тим більше утвориться біоетанолу. З пентозанів не утворюється

|                 |      |                       |        |      |   |   |         |
|-----------------|------|-----------------------|--------|------|---|---|---------|
|                 |      |                       |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i>  |   |         |
| Змн.            | Лист | № докум.              | Підпис | Дата |   |   |         |
| <i>Розроб.</i>  |      | <i>Балацький А.Е.</i> |        |      | <i>Характеристика сировини,<br/>біологічного агенту.<br/>Обґрунтування вибору<br/>технологічної схеми</i> | Арк.                                      | Аркушів |
| <i>Конс.</i>    |      | <i>Щурська К.О.</i>   |        |      |   | 11  |         |
| <i>Керівник</i> |      | <i>Щурська К.О.</i>   |        |      |   | <i>КПІ ім. І.Сікорського<br/>ФБТ, КЕБ</i> |         |

біоетанол, оскільки дріжджі не використовують їх в своєму живленні, тому їх високий вміст не бажаний, оскільки з такої сировини буде менший вихід біоетанолу. Лігнін також не використовується для отримання біоетанолу і високий його вміст ускладнює процес попередньої обробки сировини. Дріжджі споживають глюкозу попередниками якої є целюлоза та геміцелюлоза, тому кукурудзяні стрижні потребують спеціальної обробки для того щоб розкласти полісахариди до мономерів.[4]

Приблизний хімічний склад порошку з кукурудзяних стрижнів вказаний в таблиці 1.1.

Табл. 1.1. Хімічний склад сухого порошку кукурудзяних стрижнів[4]

| Компонент    | Целюлоза    | Геміцелюлоза | Лігнін     |
|--------------|-------------|--------------|------------|
| Кількість, % | 32,3 – 45,6 | 39 - 40      | 6,7 – 13,9 |

Вихід біоетанолу залежить від технології обробки, що використовується та технології гідролізу сировини до мономерів цукрів, оскільки саме мономери піддаються подальшій ферментації на етанол. Якісний склад гідролізату також впливає на подальші процеси, оскільки утворюються пентози та гексози, а не всі мікроорганізми здатні продукувати ферменти, що розкладають обидва типи моноцукрів. Проте існує можливість підбору штамів, що будуть розкладати і гексози і пентози [5], що сприятиме економічній ефективності виробництва біоетанолу.

Виробництво біоетанолу з відходів кукурудзи має можливість бути повністю забезпеченим сировиною, що грає важливу роль у можливості створення такого виробництва, сприятиме вирішенню паливних проблем України, розвитку галузей країни, що пов'язані з сільськогосподарською діяльністю і харчовою промисловістю і, що не менш важливо, матиме позитивний ефект на екологічну ситуацію у країні.

## 1.2. Обґрунтування вибору технології

За основу технології виробництва біоетанолу з відходів деревини прийнята загальновідома технологія отримання етилового спирту, що використовується на гідролізних заводах, що була модифікована для більш ефективної переробки сировини на біоетанол.

**Санітарна підготовка виробництва.** Перед стартом виробничого процесу, для його безперебійного проведення, проводиться підготовка персоналу і підготовка обладнання та комунікацій.

**Підготовка персоналу.** Персонал повинен пройти санітарно-медичне обстеження, інструктаж та отримати засоби індивідуального захисту перед початком роботи.

**Підготовка обладнання та комунікацій.** Для дотримання санітарних умов, обладнання та трубопроводи миються та стерилізуються перед роботою. Для цього використовують миючі засоби і розчини лугів. Також проводиться перевірка обладнання на герметичність під тиском.

**Приготування реактиву Фентона.** Готують суміш для подальшої обробки сировини перед ферментативним гідролізом. Використовують  $\text{FeCl}_3$   $7,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л та 0,3 моль/л перекису водню. Готують розчин вищезазначених речовин в комбінації розчинників вода : диметилсульфоксид = 1 : 6.

**Приготування розчинів мінеральних солей і кислот.** Готують розчини для забезпечення мікроорганізмів мінеральним живленням. Так як в сировині не міститься джерел азотного і фосфатного живлення то вони додаються у вигляді солей до сировинного суслу. В якості солей використовують сірчаноокислий амоній (0,2 – 0,5 г/л), фосфорноокислий амоній (0,2 – 0,3 г/л) та фосфорна кислота (0,2 – 0,3 г/л).

**Підготовка пари.** Готують пару для забезпечення певних технологічних операцій, а саме процесу гідролізу і очищення спирту у колонах брагоректифікаційної установки, у високотемпературному носії, яким є

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 13   |

водяна пара. Підготовка пари здійснюється стандартними методами і в процес подається гаряча пара під тиском 2 атм.

**Отримання посівного матеріалу.** При подачі в ферментер суспензія дріжджів повинна мати потрібну концентрацію клітин дріжджів і максимальну синтетичну активність дріжджів. Спочатку готується поживне середовище, а потім проводять вирощування спиртових дріжджів.

*Приготування поживного середовища.* Метою даної стадії є забезпечити виробничу культуру дріжджів усіма поживними речовинами для росту. Для забезпечення дріжджів необхідними поживними речовинами готують поживне середовище. Середовище готують на основі солодового суслу та додають до нього джерела азотного і фосфорного живлення (сірчаноокислий амоній, фосфорноокислий амоній, фосфорна кислота). Середовище стерилізують і охолоджують до 30 °С.

*Відновлення музейної культури дріжджів.*

Метою стадії є ступеневе збільшення кількості біомаси спиртових дріжджів. Спочатку чисту культуру з банку клітин розмножують у декілька стадій: у пробірках, колбах і потім в кюветах. Далі проводять культивування спиртових дріжджів першої генерації.

Існує періодичний і безперервний спосіб культивування. Типовим рішенням на спиртових заводах є періодичний спосіб культивування дріжджів. Приріст дріжджів при періодичному способі підпорядковується наступному рівнянню:

$$X = X_0 \cdot e^{\mu\tau},$$

де  $X$  – концентрація клітин в момент часу  $\tau$ ;  $X_0$  – початкова концентрація клітин;  $\mu$  - питома швидкість росту дріжджів;  $\tau$  – час культивування.

До отриманого на попередній стадії поживного середовища вносять розмножену на кюветах музейну культуру спиртових дріжджів. Процес проводять в інокуляторах при температурі 25 – 30 °С. По досягненню об'єму біомаси дріжджів 10% від об'єму апарату її направляють у більший інокулятор.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                            | 14   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            |      |

*Отримання товарної біомаси.* Мета стадії отримати біомасу виробничих дріжджів з потрібною концентрацією клітин дріжджів.

Культуру другої генерації культивують періодичним способом у більшому інокуляторі. Товарна біомаса повинна мати концентрацію дріжджів 80 – 100 г/л. Культивування спиртових дріжджів другої генерації відбувається до досягнення дріжджами 10% об'єму бродильного апарату. Отриману товарну біомасу з заданою концентрацією клітин дріжджів подають в бродильний ферментер на зброджування.

**Доставка сировини.** Сировина представлена відходами кукурудзи (кукурудзяні стрижні). Відходи кукурудзи на підприємство постачаються автомобільним і залізничним транспортом, і за допомогою конвеєрів транспортуються на виробництво. Сировина, що постачаються може не відповідати необхідним розмірам або містити домішки, тому виконують стадію підготовки.

**Очищення сировини від домішок.** На цій стадії сировина очищається від можливих домішок, що присутні в ній.

**Подрібнення сировини.** На даній стадії необхідне для більш ефективного перебігу подальших стадій обробки та гідролізу сировини.

**Приготування поживного середовища.** Отримують поживне середовище, що містить всі необхідні поживні речовини, з целюлозовмісної сировини для зброджування дріжджами і отриманням спирту.

**Попередня підготовка сировини.** Ферментативний гідроліз не може бути проведений без попередньої підготовки сировини, тому що целюлоза в біомасі захищена шаром лігніну та геміцелюлози.[4] Саме тому попередня підготовка сировини необхідна для того, щоб дозволити ферментам взаємодіяти з целюлозою, тим самим максимізувавши вихід моносахаридів та мінімізувавши кількість інгібіторів ферментів, що утворюються в процесі.[6]

Розповсюдженими методами попередньої обробки сировини є термічна обробка, кислотна обробка, лужна обробка та обробка органічними розчинниками.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 15   |

Метод термічної обробки вимагає високих температур та тиску та гарантує низький вихід целюлози із суміші.

Кислотна та лужна обробка краще вивільняє целюлозу із сировини але потребує великої кількості реактивів.

Обробка органічними розчинниками має найвищий коефіцієнт вивільнення целюлози та олігомерів глюкози, але потребує контролю за вмістом розчинника в суміші та уважному підборі розчинника, який не буде інгібувати наступний процес ферментативного гідролізу.

В даному проекті було обрано метод попередньої підготовки сировини шляхом перемішування подрібненої сировини з реактивом Фентона в розчині з комбінацією розчинників вода : диметилсульфоксид = 1 : 6. Завдяки реакції Фентона, цей метод дозволяє повноцінно відділити целюлозну фракцію, що переходить в розчин, від лігніну. Вміст ДМСО в суміші, що складає 14,3%, не інгібує дію ферментів на подальшій стадії гідролізу.[7]

Порошок зі стрижнів кукурудзи додають в реактор, де перемішують з вищезазначеним розчином при температурі 130°C протягом 4 годин. Нагрівання відбувається за допомогою насиченої пари.

**Фільтрація.** Мета стадії – відділити лігнінову фракцію від розчину вуглеводів. Фільтрація відбувається через нутч-фільтр закритого типу, де нерозчинний лігнін залишається на фільтрі, а вуглеводи переходять в фільтрат.

**Гідроліз сировини.** Отримують субстрат для виробництва етанолу дріжджами, які не можуть використовувати складні полісахариди, що містяться в відходах кукурудзи (целюлозу та олігомери глюкози), тому полісахариди повинні бути розкладені до моносахаридів, які вже будуть зброджуватися дріжджами. Для розкладу полісахаридів до моносахаридів є необхідною стадія гідролізу сировини. Найбільш розповсюдженими є три способи гідролізу: гідроліз розбавленими мінеральними кислотами, гідроліз концентрованими мінеральними кислотами і ферментативний гідроліз.

Найбільше застосування знайшли два способи застосування мінеральних кислот: гідроліз розбавленими кислотами і гідроліз

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                            | 16   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            |      |



концентрованими кислотами. При гідролізі розбавленими кислотами температура реакції зазвичай складає 160 – 190 °С і концентрація каталізатору в водному розчині складає від 0,3 до 0,7 %. При гідролізі концентрованими кислотами концентрація сірчаної кислоти зазвичай складає 70 – 80 %, а соляної 37 – 42 %. Температура реакції в цих умовах 15 – 40 °С.

Знизити втрати моносахаридів легше при гідролізі концентрованими кислотами, внаслідок чого вихід цукру при цьому може досягати майже теоретично можливого, а це 650 – 750 кг з 1 т абсолютно сухої сировини.

При гідролізі розбавленими кислотами знизити втрати моносахаридів внаслідок їх розкладу значно важче і тому практичний вихід моносахаридів в цьому випадку зазвичай не перевищує 450 – 500 кг з 1 т сухої сировини.

Серйозним недоліком способу гідролізу концентрованими кислотами є високі витрати мінеральної кислоти на 1 т отриманого цукру, що призводить до необхідності регенерації частини кислоти чи використання її в інших виробництвах; це ускладнює і здорожує будівництво і експлуатації таких заводів. Великі складнощі викликає також підбір матеріалу для обладнання, що є стійким в агресивних середовищах. Також, необхідний розподіл малої кількості концентрованої кислоти між частинками гідролізованої сировини і сировина потребує попередньої сушки [9]. По цим причинам, основні діючі заводи побудовані по методу гідролізу розбавленими кислотами [9].

Ферментативний гідроліз рослинної сировини в промислових масштабах досить перспективний. Основні позитивні особливості ферментного гідролізу: специфічність ферментативного каталізу, що обумовлює вибіркового гідролізу глікозидних зв'язків полісахаридів; відсутність деструкційних перетворень утворених моносахаридів, що дозволяє отримати їх вихід близький до теоретично можливого; можливість проведення процесу при 40 – 50 °С без значних енергетичних витрат.

Однак, практична реалізація ферментативного гідролізу зустрічає серйозні труднощі, що пов'язано, в першу чергу, з особливостями кінетики цього процесу. Ферментативний гідроліз рослинної сировини ускладнений

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 17   |

полікомпонентністю його хімічного складу і низькою реакційною здатністю основної кількості целюлози з високовпорядкованою структурою.

В даній дисертації технологія передбачає, що така целюлоза повністю переходить в олігомери глюкози на попередній стадії підготовки сировини, тому було вирішено використати ферментативний гідроліз. Більш того, беручи до уваги відсутність лігніну та геміцелюлози в фільтраті, потребується набагато менше ферментного препарату та апаратної складової ніж в стандартній технології (без попередньої обробки).

Фільтрат подають в реактор для гідролізу, додають карбонат кальцію для доведення рН до показників 4,5 – 4,8. Додають целюлазу, отриману з *Trichoderma reesei* та перемішують протягом 12 годин при 180 обертах/хв та 50°C. Процес переривають кип'ятінням розчину при 85°C протягом 5 хвилин. Нагрівання відбувається за допомогою теплоносія – води. Нейтралізація гідролізату не потребується, тому що рН середовища є відповідним для збродження.[8]

**Випарювання гідролізату.** Збільшують вміст цукрів в гідролізаті шляхом випарювання.

Випарювання здійснюється в випарних апаратах, які можуть бути різними за будовою (з виносною камерою, двокамерні і т.д.) і типом протікання процесу (з природньою циркуляцією, штучною циркуляцією, падаючою плівкою і т.д.). Для випарювання гідролізату було обрано два плівкові випарні апарати з падаючою плівкою.

Гідролізат поступає в випарний апарат високого тиску. В апараті підтримується тиск на 4 - 5 атм нижче, ніж в гідролізапараті. Завдяки цьому гідролізат в ньому миттєво закипає, частково випаровуючись, і охолоджуючись. Утворена пара відділяється від краплин гідролізату і по трубі поступає в решофер, де конденсується. Частково охолоджений гідролізат по трубі поступає в випарний апарат низького тиску, де додатково охолоджується в результаті закипання при більш низькому тиску. Утворена пара по трубі

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 18   |

подається в другий решофер, де конденсується. Конденсати з решоферів містять 0,2 – 0,3% фурфуролу і використовуються для виділення фурфуролу.

**Стадія зброджування поживного середовища.** На цій стадії отримують етиловий спирт при зброджуванні дріжджами моносахаридів поживного середовища. Цей процес називається спиртове бродіння і проводиться у ферментерах. Дана стадія є однією з найбільш важливих в процесі виробництва біоетанолу.

На більшості гідролітичних заводів прийнята технологія безперервного зброджування в 2-членній бродильній батареї з рециклом дріжджів (виробнича назва «неперервне сепараційне зброджування») в відповідності з блок-схемою на рис. 1.2 [10].



Рис. 1.2. Блок-схема зброджування гідролізату [10]

Найстарішим способом зброджування є періодичний спосіб. Для нього характерне проведення бродіння від початку до кінця в одному апараті [11]. Цей процес відбувається в три стадії: зброджування полягає в активації дріжджів, без видимих ознак бродіння; головне бродіння – характеризується швидким споживанням цукру, інтенсивним виділенням вуглекислоти і утворенням 80 – 85% всього спирту; доброджування – відбувається засвоювання важкозброджуваної галактози, по мірі використання поживних речовин і накопичення продуктів бродіння, швидкість процесу уповільнюється, дріжджі осідають. Періодичний метод бродіння має ряд недоліків, основними з яких є тривалість процесу (3 – 4 доби) і його трудоемність[12].

Існує ще циклічний спосіб бродіння, що є різновидом напів-безперервних способів, в яких головне зброджування протікає безперервно, а

доброджування – періодично. В цьому способі бродильні чани з'єднуються переточною комунікацією (рис. 1.3).

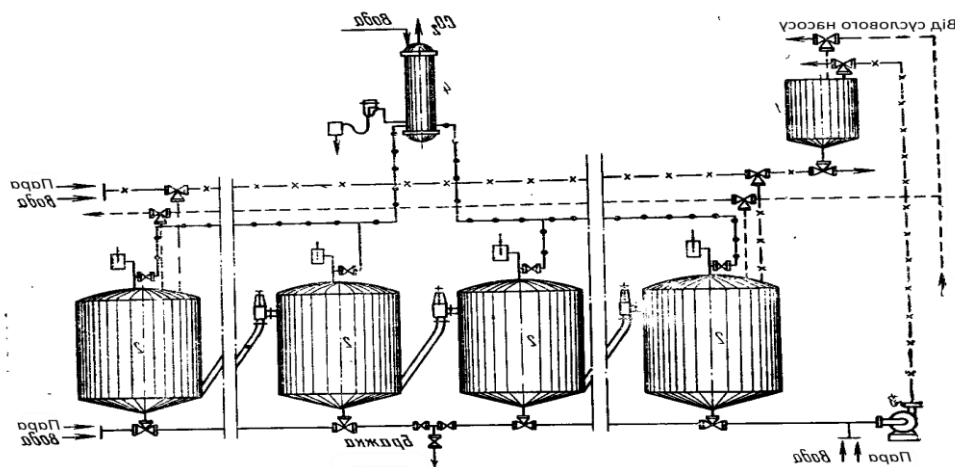


Рис. 1.3. Схема циклічного зброджування сусла [11]:

1 – зброджувач; 2 – бродильні апарати; 3 – насос; 4 – спиртовловлювач.

Крім механізованих ферментерів необхідний зброджувач. Сулова комунікація підводиться до зброджувача, двох перших і до останнього апарату бродильної батареї. В батареї повинно бути не менше шести апаратів. Батарея бродильних апаратів завантажується через головний апарат, яким по черзі стає то перший, то останній апарат. При першому циклі зброджування дріжджі зі зброджувача і сировина поступають в перший по потоку бродильний апарат. Після заповнення цього апарату бражка перетікає в другий бродильний апарат, з нього в третій і т.д., заповнюючи п'ять апаратів при 6-членній батареї, на що потрібно 60 – 62 год. Після цього бражку у всіх апаратах залишають на дозброджування, а надходження сусла переводять на останній апарат, який до цього часу повинен бути промитий і простерилізований.

Другий цикл бродіння починається з заповнення батареї в оберненому напрямку, з останнього апарату. Зріла бражка першого циклу поступає на перегонку спочатку з передостаннього апарату і так до першого. Під час переробки нормальної сировини в якості маточних дріжджів зазвичай використовують відбирання бражки з першого по потоку бродильного апарату при бродінні на 8 – 10% і за допомогою насоса перекачують в попередньо промитий і пропарений зброджувач.

|      |      |          |        |      |                     |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|      |      |          |        |      | БЕ71мп.065152.01.МД | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 20   |

В першому по потоку апараті наступає головне бродіння, яке закінчується у другому. В наступних апаратах відбувається доброджування. Тривалість перебування бражки в окремих апаратах при роботі по циклічному методу неоднакова: найбільша в перших, найменша в останній апаратах по потоку.

В даному методі можливе закисання бражки в перших чанах. Також для більш ефективної роботи потрібна установка двох паралельних ліній підготовки напівпродуктів. Організація роботи по циклічному способі не складна, і вихід спирту при тривалості процесу 60 – 62 год такий самий, як і при 72 год періодичного бродіння [11].

Як вже зазначалось, в гідролізній промисловості для зброджування моноцукрів часто застосовують неперервний метод бродіння з поверненням відсепарованих дріжджів в бродильну батарею. Схема даного процесу зображена на рис. 1.4.

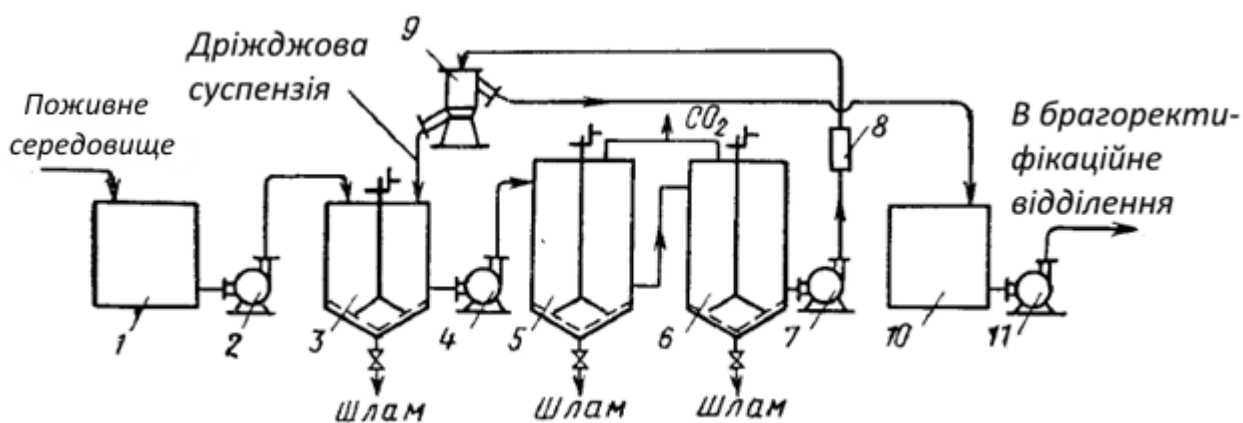


Рис. 1.4. Технологічна схема сепараційного методу бродіння [12]:

1 – збірник поживного середовища; 3 – ферментер; 5 – головний бродильний ферментер; 6 – хвостовий бродильний ферментер; 8 – фільтр; 9 – сепаратор; 10 – збірник бражки; 2, 4, 7, 11 – насоси.

Підготовлене поживне середовище зі збірника 1 неперервно перекачується насосом 2 в ферментер 3. Сюди ж самотоком з сепараторів 9 поступає дріжджова суспензія, що відділена від бражки. Концентрація дріжджової суспензії складає 90 – 120 г пресованих дріжджів (з вологістю 75%) в 1 л. На кожний кубометр дріжджової суспензії подається 8 – 10 м<sup>3</sup>

|      |      |          |        |      |                     |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|      |      |          |        |      | БЕ71мп.065152.01.МД | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 21   |

сусла. Суміш сусла і дріжджів з ферментеру безперервно насосом 4 подається в головний апарат 5 бродильної батареї, де відбувається головна стадія спиртового бродіння. Ферменти, що містяться в дріжджах, каталізують розщеплення гексоз, при цьому утворюється етиловий спирт і вуглекислий газ. Етиловий спирт переходить в навколишню рідину, а вуглекислий газ, що виділяється, піднімається на поверхню, забираючи дріжджі. При дотику з поверхнею рідини бульбашки вуглекислоти лопаються, а дріжджові клітини, густина яких ( $1,1 \text{ г/см}^3$ ) більша, ніж гідролізату ( $1,02 \text{ г/см}^3$ ), опускаються вниз, потім, збродивши чергову порцію цукру, знову піднімаються. Такий неперервний рух дріжджів сприяє перемішуванню рідини в бродильному апараті. З головного бродильного чана бражка самотоком поступає в хвостовий чан 6. В процесі доброджування відбувається засвоєння дріжджами найбільш важкозброджуваних цукрів, наприклад галактози, і завершення ланцюжка проміжних реакцій спиртового бродіння. По завершенню бродіння бражка насосом 7 перекачується через сітчастий фільтр 8 на сепаратори 9. В фільтрі відбувається вловлювання частинок випадкових предметів, що потрапили в бражку. На сепараторах бражка розділяється на два потоки: дріжджову суспензію і відсепаровану спиртову бражку. Остання збирається в збірнику 10, звідки насосом 11 подається в брагоректифікаційне відділення, а дріжджова суспензія самотоком потрапляє в ферментер 3, де знову змішується зі свіжим суслom [12].

Процес проводиться в анаеробних умовах при температурі  $32 - 34^\circ$  протягом 5 – 7 год. рН середовища повинно складати близько 4,5. Бродильна здатність дріжджів (виражена в кг субстрату, що зброджують 1 кг дріжджів за год) складає 0,2 – 0,3 кг/(кг·год). Утворена в результаті бродіння бражка містить 1 – 1,5% етанолу. Концентрація незброджених гексоз не повинна перевищувати 0,1%. [14] Економічний коефіцієнт по спирту  $Y_{сп}$  складає від 0,54 до 0,595 л/кг [10].

Проведення процесу бродіння безперервним способом є найбільш використовуваним способом в промисловості і показує гарні результати.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 22   |

Процес характеризується низькою тривалістю, високим виходом спирту і можливістю рециркуляції дріжджів. Також зважаючи, що брагоректифікаційні установки працюють у безперервному режимі, то вибір безперервного способу бродіння є більш раціональним.

**Відділення дріжджів з бражки.** На даній стадії клітини дріжджів відділяються від бражки і отримується чиста бражка. Основними методами розділення сумішей є фільтрування або центрифугування. Проте типовим рішенням на спиртових заводах є використання сепараторів. При використанні сепараторів досягається високий рівень очищення культуральної рідини в клітин дріжджів. Сепаратор працює при швидкості 4500 – 6000 об/хв і відбувається розділення рідини на два потоки: дріжджі відправляють на рециркуляцію, а бражка йде на очищення.

**Виділення етанолу на брагоректифікаційній установці.** Мета процесу очистки спирту – звільнити його від більшості супровідних домішок і одержати спирт стандартної концентрації. Для відділення домішок і зменшення частки води у кінцевому продукті обрано процес ректифікації, як типові 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 [13].

Летючість домішок по відношенню до летючості етанолу характеризує величина коефіцієнта ректифікації домішок  $K^*$ :

$$K^* = \frac{K_d}{K_{ет}}$$

де  $K_d$  і  $K_{ет}$  – відповідно коефіцієнти випаровування домішки і етанолу [14].

За значенням цього коефіцієнту розділяють такі типи домішок:

- головні домішки, що мають коефіцієнт ректифікації завжди  $K^* > 1$ , будуть легко вилучатися з водно-спиртової суміші і концентруватися у верхній точці колони [13]. Основними представниками головних домішок є: оцтовий і масляний альдегід, акролеїн, різні ефіри [15].

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 23   |

- хвостові домішки, що мають меншу летючість ніж спирт  $K < 1$  при будь-якій концентрації, будуть виходити в залишок [13]. Типовими хвостовими домішками є оцтова кислота, фурфурол і вода [15].
- проміжні домішки, що мають більшу летючість ніж спирт при низьких концентраціях, будуть вилучатися у відгінній частині колони і зміщуватись догори; навпаки в зоні концентрованого спирту проміжні домішки будуть зміщуватися вниз по колоні. За таких умов проміжні домішки будуть накопичуватися у середній частині повної колони, там де їх коефіцієнт ректифікації  $K = 1$ , бо нижче цієї зони проміжні домішки ведуть себе, як головні і прагнуть рухатись вверх по колоні; вище вони ведуть себе як хвостові і відтісняються вниз більш летким компонентом – етиловим спиртом [13]. Основні представники проміжних домішок – ізоаміловий, ізобутиловий, пропіловий спирти і деякі ефіри [15].

Брагоректифікаційні апарати є основним типом апаратів для отримання ректифікованого спирту на сучасних спиртових заводах [16]. Брагоректифікаційні установки зазвичай мають три основні колони і одну – три додаткові, що встановлюються по мірі необхідності. При отриманні ректифікованого спирту безпосередньо з бражки частіше намагаються попередньо звільнити частину бражки від екстракційних речовин, твердих речовин і більшої частини води за рахунок встановлення бражної колони. В залежності від способу включення бражної колони в схему розрізняють брагоректифікаційні установки прямої, непрямої і напівпрямої дії. Бражна колона служить для відділення легкої частини бражки від нелетючої. Звільнена від летючої частини бражка виводиться з нижньої частини колони в вигляді барди. По своєму складу спиртоводна пара і бражний дистилят, що виходять з бражної колони відрізняються від спирта-сирцю тільки по концентрації. Якщо концентрація спирта-сирцю не менше 88 % об., то спиртоводна пара і бражний дистилят мають концентрацію 25 – 55 % об.. Склад домішок спирту в основному такий самий [15].

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 24   |



Найбільш доцільно для отримання ректифікованого спирту з потрібними показниками буде використати трьохколонну брагоректифікаційну установку. Дана установка складається з бражної, ректифікаційної і метанольної колон (рис. 1.5).

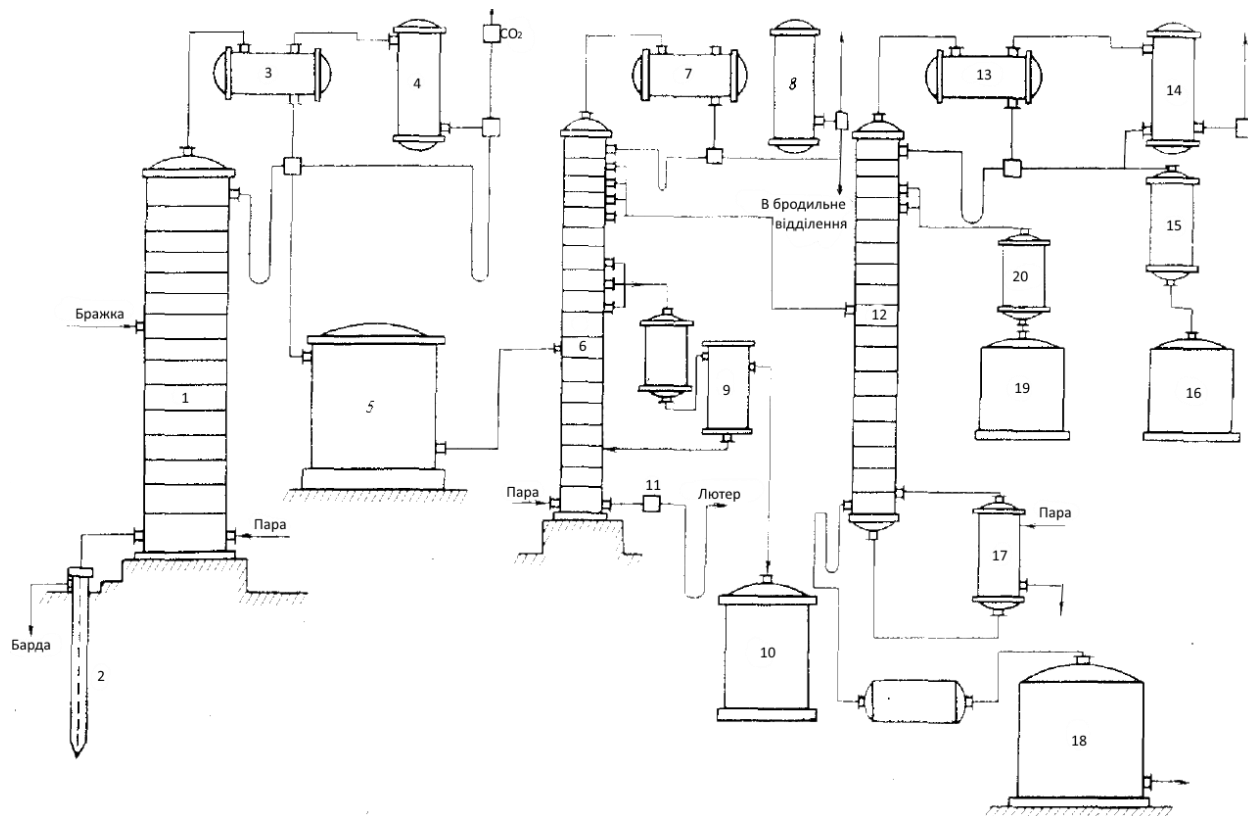


Рис. 1.5. Схема трьохколонної брагоректифікаційної установки [12]:  
 1 – бражна колона; 2 – бардяний затвор; 3 – дефлегматор; 4 – контрольний холодильник; 5 – проміжний збірник; 6 – ректифікаційна колона; 7 – дефлегматор; 8 – контрольний холодильник; 9 – відділювач сивушних масел; 10 – збірник; 11 – гідрозатвор; 12 – метанольна колона; 13 – дефлегматор; 14 – конденсатор; 15 – холодильник; 16 – збірник метанольної фракції; 17 – підігрівач; 18 – збірник готового етанолу; 19 – збірник метанолу; 20 – ХОЛОДИЛЬНИК.

**Очищення в бражній колоні.** На цій стадії стадії – відділяють летку частину бражки від нелеткої. Відділена від леткої частини бражка відводиться

знизу і містить хвостові домішки. В летючій частині міститься до 40% спирту і вона подається в ректифікаційну колону для подальшого очищення.

Оскільки бражна колона потребує для повноцінної роботи додаткове обладнання, таке як дефлегматор, холодильник, то пропонується розглядати їх комплексно, у одній стадії технологічного процесу.

**Очищення в ректифікаційній колоні.** На даній технологічній стадії отримують спирт концентрацією 94-95 %, в якому відсутні сивушні масла, органічні кислоти та інші домішки. Для цього встановлюються ректифікаційна колона в якій спирт позбувається більшої частини води, більшості домішок, окрім метанолу, і концентрується до 94 – 95%. Отриманий спирт задовольняє вимоги НТД по вмісту етилового спирту, вмісту води та вмісту більшості домішок.

Оскільки ректифікаційна колона потребує для повноцінної роботи додаткове обладнання, таке як дефлегматор, холодильник, то пропонується розглядати їх комплексно, у одній стадії технологічного процесу.

**Очищення в метанольній колоні.** Метою стадії є зменшити вміст метанолу в етиловому спирті до значення, що задовольняє вимоги НТД. Оскільки гідролізний спирт містить 0,7 – 0,8% метанолу, а його вміст не повинен перевищувати 0,5%, то встановлюється метанольна колона в якій відбувається відділення метанольної фракції від етилового спирту. На даній установці отримується етиловий спирт концентрацією 94 – 96%, звільнений від ефірів і альдегідів, а також сивушних масел.

Оскільки метанольна колона потребує для повноцінної роботи додаткове обладнання, таке як дефлегматор, холодильник, теплообмінник то пропонується розглядати їх комплексно, у одній стадії технологічного процесу.

Втрати спирту в даній установці не перевищують 4 – 5% , причому 50% цих втрат уходять з бардою [12]. Процес проводиться в безперервному режимі і використання даної установки є найбільш ефективним вибором для отримання спирту з заданими показниками.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 26   |

Основним робочим елементом будь-якої ректифікаційної колони є контактні пристрої, на яких здійснюється процес масо- і теплообміну між парою і рідиною. Конструкція контактної пристрою повинна забезпечувати як можна більшу інтенсивність масообміну в ньому. Це досягається в першу чергу шляхом створення розвиненої поверхні контакту фаз і такої гідродинамічної обстановки, при якій коефіцієнт масопередачі буде більшим.

Найчастіше, в спиртовій промисловості в ректифікаційних колонах застосовуються найбільш прості по конструкції сітчасті тарілки. Вони мають високу продуктивність по парі, легкі в виготовленні і мають малу металоємність, проте вони дуже чутливі до точності встановлення. Ковпачкові тарілки завдяки своїй простоті експлуатації і універсальності також широко використовуються в ректифікаційних колонах. Тарілки з капсульними ковпачками мають відносно високий ККД (0,75 – 0,8) і працюють в широкому діапазоні продуктивності по газу. Проте їх гідравлічний опір залежить від глибини занурення ковпачка і зазвичай не перевищує 1 кПа. До недоліків слід віднести їхню значну металоємність і важкість виготовлення.

Пропонується на проектуваному підприємстві використати в ректифікаційних колонах сітчасті (решітчасті) провальні тарілки без переливних пристроїв (рис. 1.6), що в останній час отримують все більше поширення. Характерною особливістю цих тарілок є збільшений вільний переріз, завдяки чому пара і рідина проходять через одні й ті самі отвори. Вони відрізняються простотою виготовлення, здатністю самоочищуватися і універсальністю застосування.

Конструкція тарілки – плоский диск з щілинами і без переливних пристроїв, забезпечує простоту виготовлення і монтажу. Диск виготовляють з листової міді чи нержавіючої сталі товщиною 3 – 5 мм, вільний переріз щілин 13 – 30%, ширина щілин 4 – 6 мм. При монтажі тарілок слід звернути уваги на горизонтальність їх установки; щілини на сусідніх тарілках повинні розташовуватись під кутом в 90°[15].

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 27   |



**Використання барди для виробництва кормових дріжджів.** Мета стадії – отримати кормові дріжджі використовуючи не зброжені в технологічному процесі цукри. В процесі зброжування спиртовими дріжджами не зброжуються пентози, тому в бражній колонії фракція, яка виводиться знизу колонії і називається бардою, містить багато пентоз і її доцільно використовувати для виробництва кормових дріжджів.

**Утилізація лютерної води.** Метою стадії є очищення лютерної води і повернення її у виробництво. В процесі ректифікації утворюється лютерна вода, яка майже не містить спирту, і її потрібно утилізувати. Лютерну воду можна очистити на локальних очисних спорудах і повернути у виробничий процес.

**Утилізація сивушної фракції.** Метою стадії є отримання сивушних масел з фракції спиртових домішок. З ректифікаційної колонії відбирається велика частина домішок у вигляді сивушної фракції, яку потрібно знешкодити або більш доцільним є отримання сивушних масел.

**Знешкодження відходів.** Метою стадії є забезпечення екологічної безпеки виробництва, шляхом утилізації відходів виробництва, які не можуть бути використані в будь-якому вигляді.

**Утилізація гіпсу та осаду.** Метою стадії є виведення з виробництва відходів, що представляють собою гіпс та осад. Після процесу нейтралізації і відстоювання утворюється осад, що містить здебільшого гіпс, який не підлягає подальшому використанню, тому він підлягає знешкодженню. Осад висушують до вологості близько 50 % і відправляють на полігон відходів або його можна використати в сільському господарстві як добриво для зменшення кислотності ґрунту.

Отже, в даному розділі було розглянуто основні способи проведення стадій гідролісної технології отримання етилового спирту та обрано ферментативний спосіб проведення гідролізу, двоступеневе випарювання в плівкових апаратах для випарювання гідролізату, безперервний спосіб проведення зброжування у двох ферментерах, для ректифікації використати

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 29   |

браго ректифікаційну установку, що складається з трьох колон та обрано решітчасті тарілки провального типу в якості контактних пристроїв ректифікаційних колон.

### 1.3. Характеристика біологічного агенту

Для гідролізного виробництва мають значення дріжджі, що входять в наступні роди: *Shizosaccharomyces* і *Saccharomyces* – використовуються при спиртовій ферментації целюлозних гідролізатів. В склад кожного роду входять численні види дріжджів, причому в основу видового поділу покладена здатність дріжджів до зброджування і засвоєння різноманітних вуглеводів. В гідролізно-спиртовому виробництві застосовуються промислові штами дріжджів, що відносяться до видів *Shizosaccharomyces pombe* і *Saccharomyces vini*. В зв'язку з нестерильністю середовища при спиртовій ферментації в виробничих умовах розвиваються асоціації мікроорганізмів, основу яких складають спиртоутворюючі дріжджі вказаних видів. В склад асоціацій входять представники *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces aseii* та інших видів [9].

**Морфологія.** *Shizosaccharomyces* мають палочковидні дріжджові клітини довжиною 4 – 18 мкм і діаметром 3 – 5 мкм, розмножуються шляхом поділу клітин навпіл.

До *Shizosaccharomyces* відноситься більшість адаптованих до гідролізних субстратів виробничих штамів дріжджів: КС-1 (Канський завод), ВС-1 (Волгоградського заводу), ХорС-1 (Хорського заводу) та ін..

*Saccharomyces* мають овальні, круглі, рідше видовжені клітини з середніми розмірами 10 – 15 мкм. Клітина оточена товстою клітинною стінкою. Всередині розташовані всі органели типової клітини: ядро, плазмалема, мітохондрії вакуолі і т. д. Розмножуються брунькуванням і їх ріст відбувається під час формування бруньок і брунька до моменту відділення стає по розміру майже рівною материнській.

|      |      |          |        |      |                     |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|      |      |          |        |      | БЕ71мп.065152.01.МД | Арк. |
|      |      |          |        |      |                     | 30   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

До *Saccharomyces* відносяться багато виробничих штамів дріжджів: ТС-1 (Тавдинського заводу), АС-1 (Архангельського заводу), ЛобС-1 (Лобвинського заводу) і ін.

**Фізіолого-біохімічні ознаки.** В зв'язку з тим, що дріжджі асимілюють готові органічні сполуки і не засвоюють  $H_2CO_3$ , вони відносяться до гетеротрофних організмів, а по типу дихання – до факультативних анаеробів, вони здатні розвиватися як в анаеробних умовах в відсутності кисню, так і в аеробних [9].

При спиртовому бродінні відбуваються ферментативні перетворення гексозних моносахаридів в анаеробних умовах, що призводять до їх неповного окиснення і супроводжуються виділенням енергії. В цих реакціях акцептором водню є не кисень, а проміжний продукт перетворення вуглеводів – оцтовий альдегід. Біохімічні процеси протікають всередині дріжджової клітини, куди через напівпроникну мембрану надходять моносахариди і необхідні неорганічні поживні речовини. Продукти метаболізму – етанол, діоксид карбону і домішки виділяються з клітини в зброджуване сушло [9].

*Shizosaccharomyces* володіють високою бродильною активністю і забезпечують підвищений вихід спирту з моносахаридів в порівнянні з *Saccharomyces*. Але вони гірше переносять зупинки цехів на планово-попереджувальний і капітальний ремонт, а також порушення параметрів технологічного процесу спиртового бродіння. Ці культури забезпечують вихід етанолу 58 – 59 л з 100 кг зброджуваних моносахаридів. *Saccharomyces* забезпечують вихід спирту 55 – 58 л з 100 кг зброджуваних цукрів.

Дріжджі живуть і розмножуються в обмеженому температурному діапазоні і для їх нормальної життєдіяльності необхідна температура 29 – 30 °С. При дуже високій або дуже низькій температурі життєдіяльність дріжджів послаблюється або зовсім припиняється. Максимальна температура для розвитку дріжджів – 38 °С, мінімальна – 5 °С, при температурі 50 °С дріжджі гинуть.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 31   |

Оптимальні температури для розвитку та виявлення максимальної бродильної активності не завжди співпадають. Дріжджі, вирощені при температурі 17 – 22 °С, мають велику бродильну енергію [17]. Найкращим температурним режимом для розмноження і бродіння дріжджів є температура в межах 30 – 33 °С [11].

При підвищенні температури дикі дріжджі і бактерії розмножуються значно швидше сахароміцетів. Якщо при 32 °С коефіцієнт розмноження диких дріжджів у 2 – 3 рази більший ніж коефіцієнт розмноження цукроміцетів, то при 38 °С він вже у 6 – 8 разів більший. У результаті прискореного розвитку бактерій підвищується кислотність бражки, в результаті зменшується вихід спирту [17].

На життєдіяльність дріжджів значно впливає активна кислотність середовища. Іони водню змінюють електричний заряд колоїдів плазматичної мембрани клітин і в залежності від концентрації можуть збільшувати або зменшувати її проникність для окремих речовин та іонів. Від значення рН залежить швидкість надходження поживних речовин у клітину, активність ферментів, утворення вітамінів. При зміні рН середовища змінюється і напрям самого бродіння. Якщо рН зрушується у лужний бік, то збільшується утворення гліцерину.

Життєдіяльність дріжджів зберігається у межах рН середовища від 2 до 8; для їх вирощування оптимальним є рН 4,8 – 5,0. При рН нижче 4,2 дріжджі продовжують розвиватися, в той час як ріст кислотоутворюючих бактерій припиняється. Цю властивість дріжджів використовують для пригнічення розвитку бактерій у середовищі, де вони присутні, яке підкислюють до рН 2,8 – 4 і витримують певний час.

Про потребу дріжджів у поживних речовинах роблять висновок по їх хімічному складу, який залежить від поживного середовища, умов культивування дріжджів та їх фізіологічних властивостей. Середній елементарний склад дріжджової клітини (%): вуглець 47, водень 6,5, кисень 31, азот 7,5 – 10, фосфор 1,6 – 3,5. Вміст інших елементів незначний (%):

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                            | 32   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            |      |



кальцію 0,3 – 0,8, калію 1,5 – 2,5, магнію 0,1 – 0,4, натрію 0,06 – 0,2, сірки 0,2. Також у дріжджах присутні і мікроелементи (мкг/кг): залізо 90 – 350, мідь 20 – 135, цинк 100 – 160, молібден 15 – 65.

Для нормального розвитку і спиртового бродіння дріжджі потребують вітамінів, які є кофакторами багатьох ферментів. Цукроміцети частково можуть синтезувати всі вітаміни, окрім біотину. Ненасичені жирні кислоти з 18 атомами карбону, особливо олеїнова, також є важливими ростовими факторами. Стимулююча дія олеїнової кислоти спостерігається тільки при малій її концентрації, до 0,5 мг/мл [9].

**Вуглецеве живлення.** Дріжджі використовують вуглець різних органічних сполук: глюкози, фруктози (D-форми), манози, галактози, але вони не асимілюють пентози. При відсутності гексоз джерелом вуглецю можуть бути також гліцерин, маніт, етиловий та інші спирти, органічні кислоти (молочна, оцтова, яблучна, лимонна).

При періодичному культивуванні в першу чергу споживаються глюкоза і фруктоза. Послідовність засвоєння жирних кислот залежить від штаму дріжджів та складу цих кислот. Як правило, у першу чергу засвоюється з суміші те джерело вуглецю, яке забезпечує більшу швидкість розмноження дріжджів.

При безперервному культивуванні дріжджів зі збільшенням швидкості розбавлення середовища у ньому залишається більше того вуглецевого компонента, який засвоюється останнім.

Олігосахариди, з яких спиртові дріжджі використовують мальтозу і сахарозу, попередньо гідролізуються відповідними ферментами дріжджів до моносахаридів. При переході від анаеробних умов до аеробних послаблюється здатність дріжджів зброджувати глюкозу і мальтозу. Дріжджі споживають мальтозу тільки при відсутності у середовищі глюкози і фруктози.

Органічні кислоти мають важливе значення у метаболізмі вуглецю, енергетичному обміні мікроорганізмів, у синтетичних та десиміляційних процесах. Використання кислот жирного ряду як джерел вуглецю залежить від

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 33   |

виду і раси дріжджів, концентрації кислоти, довжини її вуглецевого ланцюжка та ступеню електролітичної дисоціації [9].

**Азотне живлення.** Дріжджі можуть синтезувати всі амінокислоти, які входять у склад білків, безпосередньо з неорганічних азотистих речовин при використанні джерелом вуглецю органічних сполук – проміжних продуктів розпаду вуглеводів, які утворюються при диханні і зброджуванні. Дріжджі засвоюють тільки дві форми азоту: аміачний азот та органічний. Вони ефективно використовують азот сульфату амонію, сечовини, аміачних солей оцтової, молочної, яблучної і янтарної кислот. У присутності зароджуваних цукрів аміачні солі дріжджів є джерелом тільки азоту; але при використанні його звільняються кислоти, які змінюють рН середовища. Аміачний азот споживається дріжджами краще, ніж азот багатьох амінокислот.

Амінокислоти – одночасно є джерелом азоту і вуглецю, останній засвоюється з кетокислот, які утворюються в результаті відщеплення аміногруп. Можлива і безпосередня асиміляція амінокислот з поживного середовища, яке містить їх повний набір та зброджуваний цукор. Внаслідок цього знижуються витрати цукрів на живлення дріжджів і дещо збільшується вихід спирту при зброджуванні.

Для використання органічного азоту (амінокислот, амідів) більшості дріжджам необхідні вітаміни (біотин, пантотенова кислота, тіамін, піридоксин та ін.). Дріжджі не засвоюють такі азотисті сполуки, як білки, бетаїн, холін, пурини й аміни у вигляді етиламіну, пропіл- і бутиламіну. Пептиди займають середню позицію між амінокислотами і білками. Використання дріжджами пептидів зменшується із підвищенням їх складності. Деяка кількість пептидів у середовищі поряд з іншими формами азоту сприяє засвоєнню амінокислот [9].

**Фосфорне живлення.** В анаеробних умовах дріжджі засвоюють фосфор головним чином у початковий період зброджування – 80-90% від максимальної кількості у дріжджах. Молоді дріжджі, які енергійно

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 34   |

розмножуються, більш багаті фосфором у порівнянні з дріжджами старими, які не брунькуються [9].

У суслі з крохмалевмісної сировини є достатня кількість фосфоровмісних сполук, а у мелясному суслі їх недостатньо [17]. Для гідролізного виробництва необхідно до гідролізату додавати джерела фосфорного живлення для ефективного бродіння.

**Культуральні ознаки.** Дріжджі в культурах на щільних поживних середовищах ростуть у вигляді колоній різного кольору, форми і консистенції, а в рідких середовищах утворюють муť, плівки і осади. Колонії дріжджів на перший погляд не відрізняються від бактеріальних: для колоній не характерний повітряний міцелій як для актиноміцетів і грибів, а частіше колонії бувають гладкими, щільними і густими.

Поряд з основним штамом спиртоутворюючих дріжджів в склад виробничої мікрофлори зазвичай входять дріжджі-супутники («дикі» дріжджі), які, як правило, мають нижчу продуктивність в порівнянні з основною культурою. Якщо основна культура *Shizosaccharomyces*, то домішками зазвичай є представники *Saccharomyces* і навпаки. В якості сторонньої мікрофлори в гідролізно-спиртовому виробництві зустрічаються також бактерії, що спричиняють молочно-кисле, оцтово-кисле і масляно-кисле бродіння, а також деякі гриби [9].

Отже, розглянувши основні морфологічні, культуральні, фізіолого-біохімічні ознаки продуценту визначено, що процес зброджування потрібно проводити в анаеробних умовах з визначеними параметрами (при температурі 32 °С і рН середовища близько 4,5), для нормального функціонування дріжджів до гідролізату потрібно додати джерела живлення азоту і фосфору, також по можливості і інших факторів росту, таких як вітаміни; культивування ефективніше проводити безперервним способом в двох апаратах.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 35   |

## 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

### 2.1. Схема перебігу процесів отримання біоетанолу з целюлозовмісної сировини

Процес виробництва біоетанолу складається з трьох послідовних стадій, що об'єднані в єдину технологічну схему: гідролізу целюлозовмісної сировини, зброджування гідролізату, що утворився та ректифікація отриманої бражки.

Технологічна схема може дещо відрізнятись при використанні тої чи іншої целюлозовмісної сировини. В цій дисертації сировина для гідролізного виробництва етанолу – кукурудзяні стрижні – являє собою складну систему, що складається з целюлози, геміцелюлози та лігніну.

Технологічна схема переробки деревини у етанол зображена на рис.2.1



Рис.2.1. Технологічна схема отримання біоетанолу з целюлозовмісної сировини

|          |      |                |        |      |  |                                   |         |
|----------|------|----------------|--------|------|--|-----------------------------------|---------|
|          |      |                |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i>               |                                   |         |
| Змн.     | Лист | № докум.       | Підпис | Дата |  |                                   |         |
| Розроб.  |      | Балацький А.Е. |        |      | Біохімічні основи технологічного процесу | Арк.                              | Аркушів |
| Конс.    |      | Щурська К.О.   |        |      |  | 36                                |         |
| Керівник |      | Щурська К.О.   |        |      |  | КПІ ім. І.Сікорського<br>ФБТ, КЕБ |         |

### 2.1.1. Механізм перетворення основних компонентів сировини під час попередньої обробки та гідролізу

В макромолекулах полісахаридів елементарні ланки, що являються по своїй будові залишками моносахаридів, поєднані між собою глікозидними зв'язками. Тому основна мета процесу підготовки та гідролізу – розщеплення саме глікозидних зв'язків, причому ця реакція не повинна супроводжуватись розривом яких-небудь зв'язків в елементарних ланках полісахаридів або вторинними перетвореннями моносахаридів, що утворюються.

Лінійні макромолекули целюлози мають постійну будову и складаються з однакових 1,5-ангідро-β-D-глюкопіранозних елементарних ланок, що з'єднані між собою 1,4-глікозидними зв'язками (рис.2.2).

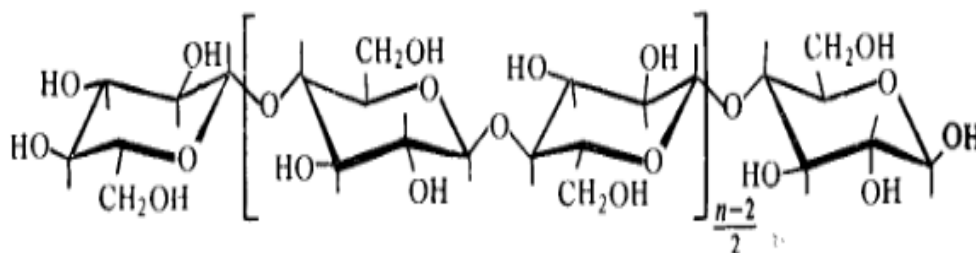


Рис.2.2. Хімічна формула макромолекули целюлози [18]

Хлорид Феруму(III) та перекис водню (реактив Фентона) мають комбіновану дію на етапі попередньої обробки целюлозовмісної сировини. Цей ефект обумовлюється реакцією Фентона, в якій іони феруму індукують розкладання перекису водню з утворенням радикалів гідроксилу та пергідроксилу (HO• та НОО•). Ці вільні радикали руйнують ефірні зв'язки целюлози та геміцелюлози з подальшим утворенням ксилози, глюкози, арабінози та розчинних олігомерів глюкози, тоді як лігнін не вступає в таку реакцію і залишається в початковому нерозчинному вигляді. Завдяки дії органічного розчинника диметилсульфоксиду целюлоза та геміцелюлоза легко переходять в розчинений стан та повноцінно деполімеризуються вільними радикалами реакції Фентона на моносахариди та олігомери.[8]

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | 37   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |  |      |

БЕ71мп.065152.01.МД

Протікає протонування та розщеплення глікозидного зв'язку за схемою, що вказана на рис.2.4.

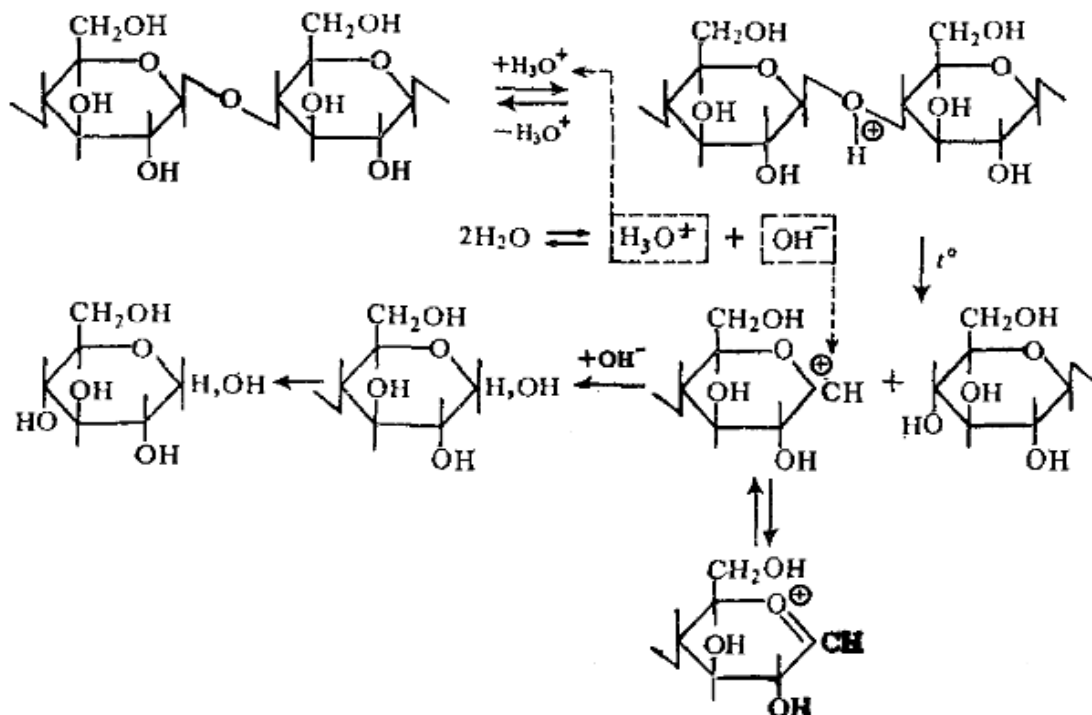


Рис.2.4. Схема протонування та розщеплення глікозидного зв'язку в молекулі целюлози [18]

Відбувається протонування глікозидного кисню, що містить вільну електронну пару, з утворенням оксонієвого макроіона, що призводить до активації глікозидного зв'язку.

В результаті розщеплення оксонієвого макроіона утворюється частина макромолекули целюлози та макрокарбкатион (макроіон карбонію або глікозилкатион), який може знаходитись у рівновазі з оксонієвим іоном. У зв'язку із розподілом позитивного заряду між вуглецевим та кисневим атомами рівноважну систему іонів зазвичай називають карбоксонієвим іоном. При взаємодії карбкатиона з водою утворюється друга частина макромолекули целюлози; продуктом основного гідролізу проміжних продуктів є D-глюкоза. Іон водню, який відщеплюється на останній стадії, вступає в реакцію з водою і знову дає іон гідроксонію. Таким чином, кислота, яка застосовується при



Розчинення полісахаридів при дії органічних розчинників – це комплекс фізичних та хімічних процесів, що протікають одночасно. При набуханні та розчиненні полісахаридів змінюється їх надмолекулярна структура, відбувається сольватація елементарних ланок, макромолекул та їх агрегатів, змінюється полярність та інших властивостей полісахаридів. У розчин переходять не лише макромолекули целюлози, але й їх агрегати, що є міцними ділянками мікрофібрил, які в набухломому стані мають розміри міцел або кристалів. При достатньо високій концентрації целюлози в розчині її макромолекули можуть утворювати трьохмірну сітку.

При підвищенні температури або збільшенні тривалості витримки реакційної суміші зростає число розірваних глікозидних зв'язків. Якщо суміш розвести водою після нетривалої витримки без термообробки, то розкладання оксонієвих сполук відбувається без розриву глікозидних зв'язків [20].

Етерифікація вуглеводів. Окрім утворення порівняно нестійких оксонієвих сполук відбувається часткова етерифікація ОН-груп елементарних ланок.

Окрім часткової етерифікації ОН-груп елементарних ланок допускають можливість утворення оксонієвих сполук по глікозидним зв'язкам (рис. 2.7).

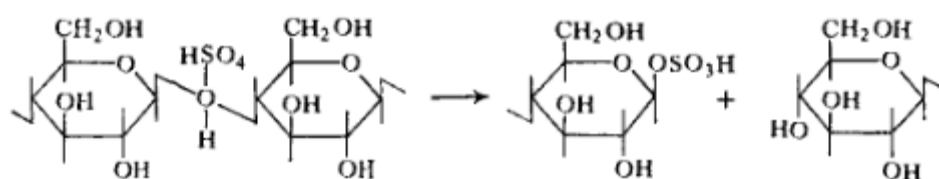


Рис. 2.7 Утворення оксонієвих сполук при розриві глікозидного зв'язку [21]

Дуже важливим фактором, що впливає на ферментативний гідроліз целюлози є ступінь її полімеризації. В процесі гідролізу після попередньої обробки беруть участь молекули з низьким ступенем полімеризації, тому ендоглюканази та целюлази ефективніше перетворюють полімерні сполуки на глюкозу.

Принциповою особливістю гідролізу рослинної сировини ферментами є можливість отримання виходу моносахаридів близького до теоретичного.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 40   |



Процес гідролізу протікає в помірних умовах – рН близько 4,5, температура - 50°C. За цих параметрів розпад моносахаридів практично не протікає, що й обумовлює їх високий вихід.

Завдання підвищення виходу цільових продуктів із сировини, що переробляється, надзвичайно актуальне, у зв'язку з чим гідроліз рослинної сировини ферментними препаратами має перспективне значення.

При гідролізі полісахаридів рослинних тканин розбавленими або концентрованими мінеральними кислотами біохімія процесу перетворення полісахаридів подібна, але при нормальній температурі реакція утворення моносахаридів практично не протікає. Однак при підвищенні температури до 100 °C і вище гідроліз полісахаридів помітно прискорюється, причому це прискорення різне для геміцелюлоз і целюлози. Так, геміцелюлози в цих умовах переходять в розчин і швидко гідролізуються до моносахаридів в гомогенному середовищі. Велика швидкість гідролізу геміцелюлози пояснюється вільним доступом каталізатора до кожної макромолекули полісахариду. Целюлоза при гідролізі розведеними та концентрованими кислотами поводить ся зовсім інакше. Вона не розчиняється у воді навіть при температурах вище 200 °C. Тому реакція гідролізу целюлози протікає на обмеженій доступній поверхні її структурних елементів . З цієї причини целюлоза гідролізується в середовищі розбавлених кислот значно повільніше, ніж геміцелюлози [22].

### 2.1.2. Біохімія спиртового бродіння

При спиртовому бродінні відбуваються ферментативні перетворення гексозних моносахаридів в анаеробних умовах, які призводять до їх неповного окиснення і супроводжуються виділенням енергії. В цих окисних реакціях акцептором водню є не кисень, а проміжні продукти перетворень вуглеводів, наприклад, оцтовий альдегід. Біохімічні процеси анаеробіозу протікають всередині дріжджової клітини, куди через напівпроникну оболонку надходять

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 41   |

моносахариди та необхідні неорганічні поживні речовини. Продукти метаболізму – етанол, двоокис вуглецю та домішки виділяються з клітини в зброджуване середовище [23].

Розглянемо основні стадії хімізму спиртового бродіння на прикладі перетворень D-глюкози, якає основним вуглеводним компонентом гідролізних субстратів (рис.2.9).

1. Фосфорилування D-глюкози відбувається за участі, в якості каталізатора, ферменту гексокінази. Каталітична активність цього ферменту підвищується в присутності йонів магнію. Переносником групи –  $\text{PO}_3\text{H}_2$  є трифосф атаденінової кислоти (аденозинтрифосфат – АДФ). D-глюкоза в цій реакції етерифікується в піранозній формі; її реакційна здатність при цьому зростає. Швидкість утворення фосфорного ефіру D-глюкози визначає загальну швидкість зброджування.

2. Ізомеризація глюкозо-6-фосфата у фруктозо-6-фосфат протікає за участі ферменту глюкозофосфатізомерази. Рівноважна система, яка отримала назву ефіру Емдена, складається на 70 – 75 % з фосфату глюкози і на 30 – 25 % з фосфату фруктози.

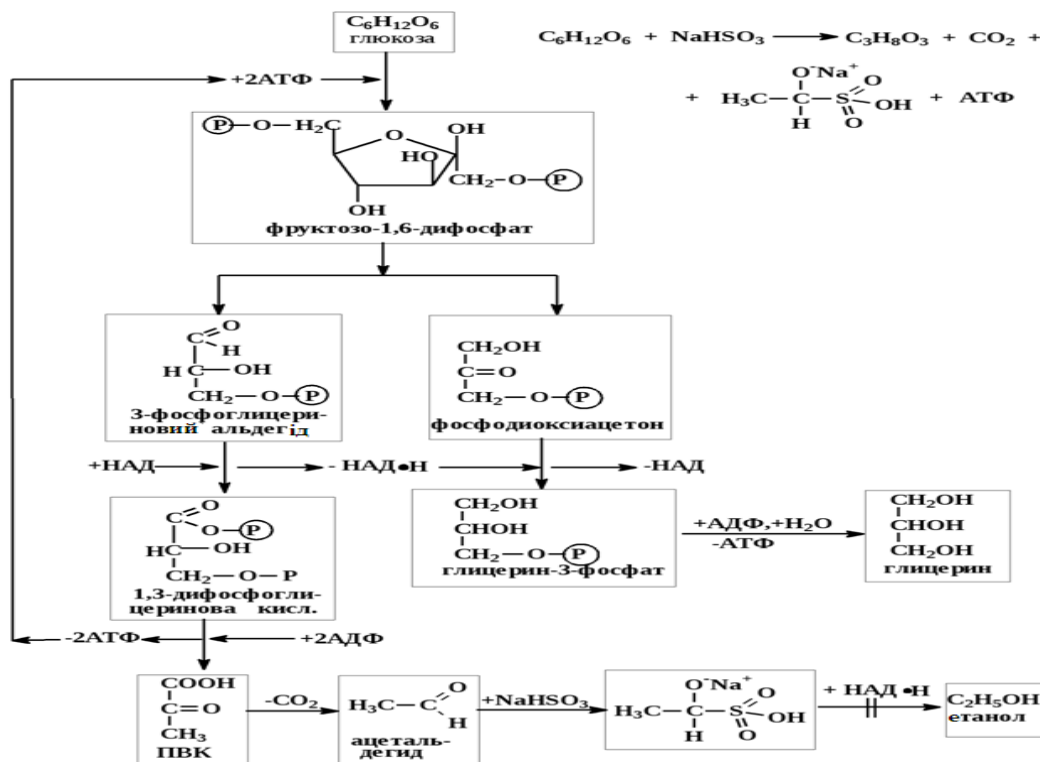


Рис.2.9. Схема хімізму спиртового бродіння [24]

3. Етерифікація ОН-групи при першому С-атомі фруктозо-6-фосфату відбувається за участі АТФ як переносника залишку ортофосфорної кислоти та фермента фосфотрикінази в якості каталізатора. Відкриття піранозного циклу призводить до утворення лабільної оксоформи фруктозо-1,6-дифосфату.

4. В результаті оборотної реакції при дії альдолази розщеплюється С-С-зв'язок (реакція десмолізу) в дифосфаті фруктози та утворюються дві тріози: фосфодіоксиацетон і 3-фосфогліцеринний альдегід, які за участі ферменту тріозофосфатізомерази здатні до взаємних перетворень. Основним компонентом рівноважної системи є 3-фосфогліцеринний альдегід, який бере участь в подальших перетвореннях.

5. Перетворення 3-фосфогліцеринного альдегіду у 1,3-дифосфогліцеринну кислоту протікає за участі неорганічної ортофосфорної кислоти за присутності тріозофосфатгідрогенази. У розрахунку на 1 молекулу глюкози необхідна 1 молекула кислоти. Переносником водню в окисному процесі є нікотинамідаденіннуклеотид (НАД), який як кофермент анаеробної дегідрогенази має властивість віднімати водень від фосфогліцеринного альдегіду.

6. Утворення 3-фосфогліцеринної кислоти протікає за участі фосфогліцераткінази; акцептором залишку фосфорної кислоти є АДФ, який при цьому перетворюється в АТФ.

7. Ізомеризація 3-фосфогліцеринної кислоти в 2-фосфогліцеринну кислоту відбувається за участі ферменту фосфогліцеромутази.

8. Дегідратація кислоти призводить до утворення фосфоенолпіровиноградної кислоти. Каталізатором слугує енолаза. Максимальна активність цього ферменту при рН 5,2 – 5,5; при рН 4,2 відбувається агрегація макромолекул фермента і при рН 3 – 4 їх денатурація.

9. Енолпіровиноградна кислота утворюється в результаті дефосфорилювання її фосфату при дії піруваткінази.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 43   |

10. В результаті ізомеризації нестійка енолпіровиноградна кислота перетворюється в її кето форму – піровиноградну кислоту, яка відрізняється більш високою стабільністю.

11. Декарбоксілювання піровиноградної кислоти за участі піруватдекарбоксилази призводить до утворення оцтового альдегіду.

12. Відновлення ацетальдегіду в етанол протікає за участі НАД·2H<sup>+</sup> та ферменту алкогольдегідрогенази. При цьому кофермент регенерується шляхом окислення в НАД.

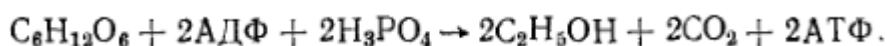
За такою ж схемою відбувається біосинтез етанолу і з інших гексоз гідролізного субстрату – D-манози та D-галактози.

Зі схеми на рис.2.8 видно, що для нормального протікання спиртового бродіння необхідна наявність в субстраті неорганічного фосфорного живлення і макро- та мікроелементів, що активують ферменти [25].

Сумарне стехіометричне рівняння спиртового бродіння, встановлене Гей-Люссаком:



Може бути представлено з урахуванням ролі АТФ у життєвих процесах наступним чином:



Зміна вільної енергії в цьому процесі складає більше 200 кДж/моль, у тому числі 83,4 кДж/моль вловлюється у АТФ і використовується для здійснення життєвих функцій мікроорганізмів. Залишки фосфорної кислоти в АТФ приєднані макроергічними зв'язками, при розщепленні яких звільняється приблизно в 3 рази більше енергії, ніж при розщепленні звичайних хімічних зв'язків. Звільнення енергії макроергічних зв'язків відбувається при переносі – PO<sub>3</sub>H<sub>2</sub> груп, а не шляхом гідролізу, при якому вільна енергія переходить в теплову.

В анаеробних умовах відбувається повільне розмноження дріжджів. При біосинтезі білка та інших компонентів клітин крім енергії витрачається частина поживних речовин субстрату [26].

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 44   |



Отже, при виробництві біоетанолу з целюлозовмісної сировини відбувається 2 основні біохімічні процеси: гідроліз целюлози за участі органічних розчинників та ферментів з утворенням моносахаридів і зброджування моносахаридів за допомогою спиртових дріжджів.

## 2.2. Характеристика кінцевої продукції виробництва

Продукцією, що виробляє підприємство є біоетанол. В ДСТУ 7502:2014 «Паливо синтетичне. Терміни та визначення понять» наведено таке визначення біоетанолу: це етанол, що виготовляється з біомаси і/або компонентів відходів, що здатні до біологічного розкладу, і використовується в якості біопалива. Етанол, що використовується в енергетичних цілях, відрізняється від того, що використовується в харчовій промисловості в основному тим, що в ньому не допускається присутність води, але в ньому можуть бути присутні такі домішки як метанол і сивушні масла, а також бензин. Допустимість присутності таких домішок зменшує витрати на очистку спирту і полегшує цей процес. Вимоги стосовно показників етанолу, що використовується в якості добавки до палива вказані в євростандарті EN 15376 «Automotive fuels - Ethanol as a blending component for petrol - Requirements and test methods» і вказані в таблиці 2.1. Також в цьому стандартні вказано, що використання біоетанолу в інших цілях забороняється.

Біоетанол є легкозаймистою рідиною. Температура займання – 13 °С. Температура самозаймання – 404 °С. Ці характеристики створюють ряд обмежень і вимог в його виробництві і роботі з ним.

Суміш етанолу з бензином характеризується високими антидетонаційними властивостями, підвищується октанове число, ККД процесу спалювання, повнота згорання та ступінь стискання [2]. В Україні дозволено додавати до 6% біоетанолу в бензин.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 46   |

Табл. 2.1. Вимоги щодо показників біоетанолу згідно EN 15376

| Найменування показника   | Значення   |
|--|--|
| Зовнішній вигляд   | Однорідна прозора рідина від безбарвного до світло-жовтого кольору, що не містить механічних домішок |
| Об'ємна доля етилового спирту, %, не менше                                       | 92,1   |
| Об'ємна доля метилового спирту, %, не більше                                     | 0,5  |
| Масова доля води, %, не більше   | 1,0  |
| Масова концентрація смол, що промиті розчинником, мг/дм <sup>3</sup> , не більше | 50   |
| Об'ємна доля денатуруючих добавок, %, в межах                                    | 1,0 – 5,0  |
| Показник активності водневих іонів, рН, в межах                                  | 6,5 – 9,0  |
| Масова концентрація хлор-іонів, мг/дм <sup>3</sup> , не більше                   | 32   |
| Масова частка сірки, %, не більше  | 0,003  |
| Масова частка міді, мг/кг, не більше   | 0,1  |

Застосування паливного етанолу у вигляді бензиново-етанольних сумішей дозволяє суттєво зменшити викиди шкідливих компонентів вихлопних газів (чадного газу, закисів азоту і інших легких токсичних викидів). Використання 10% суміші етанолу зменшує (у порівнянні зі звичайним бензином):

- викиди парникових газів на 12-19%;
- викиди оксиду вуглецю на 30%;

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 47   |

- токсичність викидів на 21%;
- кількість твердих часток у вихлопі на 50% [28].

Максимальна відсутність води є важливим параметром біоетанолу. Фазова нестабільність бензиново-етанольної суміші, яка обумовлена наявністю в паливі невеликих кількостей води, є чи не головним її недоліком. Ступінь розшарування залежить від температури, вмісту спирту в суміші і вмісту води в спирті, а також від присутності в бензині ароматичних вуглеводнів. У реальних умовах при зберіганні та транспортуванні спирто-бензинового палива є неминучим його обводнювання, що суттєво впливає на термін придатності палива [2].

Визначено, що біоетанол в якості добавки до бензину покращує експлуатаційні властивості палива, а також його екологічні властивості. Наведені вимоги до біоетанолу, а саме вміст в ньому етилового спирту, основних домішок та води, мають бути враховані при виборі методів і обладнання в технології виробництві біоетанолу.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 48   |



### 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Сировина та матеріали

Сировина та матеріали, що використовуються на виробництві зазначені в таблиці 3.1.

Табл. 3.1. Сировина та матеріали, що використовуються для виробництва біоетанолу

| Найменування   | Категорія і номер НТД згідно якого перевіряється сировина | Показники, що обов'язкові для перевірки та їх нормативне значення  | Примітка |
|--|---|--|----------|
| 1. Основна сировина  |   |  |          |
| 1.1. Відходи кукурудзи (стрижні)   | -   | Відсутність гниття, домішок, металів.  |          |
| 1.2. ДМСО  | Відповідність специфікації виробника.                     | Кількісне визначення диметилсульфоксиду $\geq 95\%$ .  |          |
| 1.3. Мінеральні солі (сірчаноокислий амоній, фосфорноокислий амоній, фосфорна кислота, карбонат кальцію) | -   | Відсутність домішок  |          |
| 1.4. Вода питна  | ДСТУ 7525:2014  | Без запаху, смаку і кольору . Відсутність механічних домішок. рН 5,5 – 7,5. Загальна жорсткість менше 5 ммоль/л. |          |
| 1.5 Розчин перекису водню  | -   | Кількісне визначення 35%   |          |

|                 |      |                       |        |      |                             |  |  |   |         |
|-----------------|------|-----------------------|--------|------|-----------------------------|--|--|---|---------|
|                 |      |                       |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i>  |  |  |   |         |
| Змн.            | Лист | № докум.              | Підпис | Дата | <i>Технологічна частина</i> |  |  | Арк.                                      | Аркушів |
| <i>Розроб.</i>  |      | <i>Балацький А.Е.</i> |        |      |                             |  |  | 49  |         |
| <i>Конс.</i>    |      | <i>Щурська К.О.</i>   |        |      |                             |  |  |   |         |
| <i>Керівник</i> |      | <i>Щурська К.О.</i>   |        |      |                             |  |  | <i>КПІ ім. І.Сікорського<br/>ФБТ, КЕБ</i> |         |

|                              |  |  |  |
|------------------------------|--|--|--|
| 1.6 Хлорид феруму(III)       | -  | Відсутність домішок  |  |
| <b>2. Допоміжна сировина</b> |  |  |  |
| 2.1. Технічна вода           | ГОСТ 17.1.1.04-80  | Відсутність крупних включень.  |  |
| 2.2. Стиснене повітря        | ДСТУ 4169-2003<br>Стиснене повітря.<br>Ч. 1. Забруднювачі та класи чистоти (ISO 8573-1:2001, MOD)<br>ДСТУ ГОСТ ИСО 8573-3:2013<br>Стиснене повітря. Частина 3. Методи контролювання вологості. |  |  |
| <b>3. Напівпродукти</b>      |  |  |  |
| 3.1 Бражка                   | -  | Вміст спирту 1– 1,5%<br>Концентрація незбродженихгексоз не більше 0,1% |  |

### 3.2. Опис технологічного процесу виробництва біоетанолу

Дана технологія призначена для виробництва біоетанолу з кукурудзяних стрижнів об'ємом 10000 т/рік.

ДР1 Санітарна підготовка виробництва

ДР1.1 Підготовка персоналу

Перед запуском виробництва персонал проходить санітарно-медичне обстеження, інструктаж і отримує засоби індивідуального захисту.

ДР1.2 Підготовка обладнання та комунікацій

Готують дезінфікуючі розчини. Обладнання та трубопроводи миють та стерилізують. Проводять перевірку обладнання на герметичність під тиском.

ДР2 Приготування розчинів для реакції Фентона.

Розчин хлориду феруму(III) з перекисом водню в ДМСО та воді готується в реакторі Р-3 з механічним перемішуючим пристроєм і секційною

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 50   |

сорочкою. Об'єм реактора складає 63 м<sup>3</sup>. В реактор дозаторами Д-1 і Д-2 подається хлорид феруму, перекис водню, ДМСО і вода. Розчин поступає в реактор на стадію ТП7.1. Обігрів відбувається за допомогою гострої пари, яка відводиться до конденсатора Т24.

На даній стадії проводиться технологічний контроль  $K_T$  – контроль температури в апараті, яка повинна складати 130 °С, і в сорочці.

#### ДР3 Приготування розчину мінеральних солей та кислот

Через дозатор Д-5 в реактор Р-7 подають сірчаноокислий амоній, фосфорноокислий амоній та фосфорну кислоту. Вода подаються через дозатор Д-6. В реакторі об'ємом 63 м<sup>3</sup>, обладнаному турбінною мішалкою отримують розчин мінеральних солей та кислот, що подається на стадію ДР5.1.

Проводять хімічний контроль  $K_x$  – контроль концентрації мінеральних сполук: сірчаноокислого амонію 0,2 – 0,5 г/л, фосфорноокислого амонію 0,2 – 0,3 г/л і фосфорної кислоти 0,2 – 0,3 г/л.

#### ДР4 Підготовка пари

Пару готують у спеціальних котлах при високому тиску. Пару низького тиску 0,5 МПа подають до стадій ДР2, ТП7.1, ТП10.1, ТП10.2, ТП10.3.

На цій стадії здійснюється технологічний контроль  $K_T$  – тиск пари, що подається в процес повинен складати 0,5 МПа.

#### ДР5 Отримання товарної біомаси виробничих дріжджів

##### ДР5.1 Приготування поживного середовища

В реактор Р-11 через дозатор Д-10 подається поживне середовище і насосом Н-8 через дозатор Д-9 подаються мінеральні поживні речовини з стадії ДР3. Реактор об'ємом 16 м<sup>3</sup> обладнаний турбінною мішалкою і секційною сорочкою. Отримане поживне середовище надходить на стадії ДР5.2 і ДР5.3 за допомогою насосів Н-12 і Н-16 відповідно.

На цій стадії здійснюється технологічний контроль  $K_T$  – температури середовища в апараті – 30 °С та температури сорочки апарату, а також хімічний контроль  $K_x$  – контроль рН поживного середовища, що повинно складати близько 4,5.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 51   |

## ДР5.2 Культивування спиртових дріжджів

В ферментері Р-15 об'ємом 1 м<sup>3</sup> з турбінною мішалкою, барботером та сорочкою відбувається вирощування чистої культури дріжджів. Через дозатор Д-13 в апарат надходить поживне середовище, також в апарат подають стиснене повітря і посівний матеріал – виробничу культуру дріжджів. Чиста культура насосом Н-17 подається в більший ферментер Р-20 на стадію ДР5.3.

На стадії проводять наступні види контроль: технологічний контроль К<sub>Т</sub> – контроль температури в сорочці і в середині апарату (30 °С), хімічний контроль К<sub>Х</sub> – контроль значення рН вмісту апарату (рН = 4,5) і мікробіологічний контроль К<sub>МБ</sub> – визначення кількості клітин дріжджів у пробі.

## ДР5.3 Отримання товарної біомаси

В більшому ферментері Р-20 об'ємом 10 м<sup>3</sup> обладнаному турбінною мішалкою, секційною сорочкою і барботером, відбувається культивування чистої культури до потрібної концентрації дріжджів в 80 – 100 г/л (в перерахунку на дріжджі з вологістю 75%). Чиста культура дріжджів з Р-15 насосом Н-17 через дозатор Д-19 подають у апарат, також насосом Н-16 через дозатор Д-18 надходить поживне середовище і в апарат подають стиснене повітря. Температура в апараті 30 °С і рН складає близько 4,5. Суспензія дріжджових клітин постачається у ферментер Р-42 на стадію ТП8.

На цій стадії здійснюються всі три види контролю: технологічний К<sub>Т</sub> – дотримують температуру в апараті 30 °С, контролюють температуру в сорочці та тиску в апараті, хімічний К<sub>Х</sub> – рН середовища дотримують на рівні 4,5 і мікробіологічний К<sub>МБ</sub> – вимірювання концентрації клітин дріжджів у суспензії.

## ДР6 Підготовка сировини

### ДР6.1 Очищення сировини від домішок

Відходи кукурудзи (стрижні) очищують до стану, коли вміст домішок в сировині не перевищує 2 – 5 г/кг. Даний параметр контролюють здійснюючи технологічний контроль К<sub>Т</sub>.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 52   |

## ДР6.2 Подрібнення сировини

Сировина перед надходженням в реактор попередньої обробки подрібнюється для досягнення оптимальних розмірів частинок, що складають 0,4 – 0,6 мм. Контроль цього параметру зумовлює технологічний контроль  $K_T$  на стадії. Підготовлена сировина подається в реактор Р-23 на стадію ТП7.1.

### ТП7 Приготування поживного середовища

#### ТП7.1 Попередня обробка сировини

Підготовлений розчин через дозатор надходить в реактор. Об'єм реактора складає 50 м<sup>3</sup>. Після завантаження сировини в реактор насосом поступає суміш з Р-3. По закінченню завантаження компонентів вміст реактора підігрівається гострою парою до 130°C. Обігрів здійснюється за рахунок пари, що відводиться від випарних апаратів В-26 і В-28. Перемішування відбувається за допомогою турбінної мішалки. Після 4 годин перемішування суспензія за допомогою насоса перекачується на стадію фільтрації в нутч-фільтр, де фільтрат відділяється від лігніну та йде до гідролізапарату. По закінченню процесу в апараті залишається лігнін, який виділяється на фільтрі та йде на стадію його хімічної переробки ПВ11.1.

#### ТП7.2 Гідроліз сировини

Підготовлена сировина через дозатор Д-21 надходить в гідролізапарат Р-23. Гідролізапарат представляє собою реактор з верхніми і нижніми конусами і горловиною. Об'єм гідролізапарату складає 50 м<sup>3</sup>. Після завантаження сировини в апарат насосом Н-4 через дозатор Д-22 поступає нагріта до 50°C вода. Завантажується карбонат кальцію до рН 4,7-4,9 та ферментний препарат. Відбувається перемішування впродовж 12 годин. По закінченню процесу ємність підігрівається гострою парою до 85°C та витримується 10 хвилин. Обігрів здійснюється за рахунок пари, що відводиться від випарних апаратів В-26 і В-28. Гідролізат, що утворився виводиться в випарник В-26 на стадію ТП7.3. Реакція гідролізу триває 12±2 год в залежності від температури і тиску в апараті.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                            | 53   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            |      |

Технологічний контроль  $K_T$  полягає в контролі температури, значення якої в апараті повинно складати  $50\text{ }^\circ\text{C}$  і тиску всередині апарату (не повинен перевищувати  $1,2\text{ МПа}$ ), а хімічний контроль рН на рівні  $4,8$ .

#### ТП7.3 Випарювання гідролізату

Гідролізат з гідролізапарату за допомогою насосу Н-25 поступає в плівковий випарний апарат високого тиску В-26. Який як і гідролізапарат вкритий всередині керамічними плитками. В випарному апараті підтримується тиск на  $4 - 5\text{ атм}$  нижчій, ніж в гідролізапараті. Завдяки цьому гідролізат, що потрапляє в нього, миттєво закипає, частково випаровуючись, і охолоджується до  $130 - 140\text{ }^\circ\text{C}$ . Частково охолоджений гідролізат з випарника В-26 за допомогою насосу Н-27 поступає в випарний апарат низького тиску В-28, де охолоджується до  $105 - 110\text{ }^\circ\text{C}$  в результаті закипання при більш низькому тиску, що зазвичай не перевищує однієї атмосфери. Конденсат, що утворюється містить  $0,2 - 0,3\%$  фурфуролу і йде на стадію ПВ11.2 де його виділяють на спеціальних установках. Отриманий гідролізат насосом Н-29 подається на стадію зброджування ТП8.

На цій стадії здійснюється технологічний контроль  $K_T$  – контроль за температурою (в першому апараті  $130 - 140\text{ }^\circ\text{C}$ , в другому  $105 - 110\text{ }^\circ\text{C}$ ) та тиском (в першому апараті  $0,6 - 0,8\text{ МПа}$ , в другому – рівний атмосферному) в кожному випарному апараті.

#### ТП7.4 Охолодження гідролізату

Гідролізат з температурою  $85\text{ }^\circ\text{C}$  поступає в пластинчастий теплообмінник Т-40 за допомогою насосу Н-39. В ньому він охолоджується до температури в  $30\text{ }^\circ\text{C}$ . Отримують поживне середовище, яке подається на стадію зброджування ТП8.

На цій стадії здійснюється технологічний контроль  $K_T$  – контроль за температурою в теплообміннику, яка складає  $30\text{ }^\circ\text{C}$ .

#### ТП8 Зброджування поживного середовища

Товарну біомасу, що містить  $80 - 100\text{ г}$  пресованих дріжджів в літрі, з реактора Р-20 через дозатор Д-41 подають неперервним потоком в збірник Р-

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                            | 54   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            |      |

43. Поживне середовище з теплообмінника Т-40 через дозатор Д-42 також подається в збірник з розрахунком, що на кожен кубометр дріжджової суспензії поступає 8 – 10 м<sup>3</sup> гідролізату. Далі вміст реактора поступово перекачується насосом Н-44 в верхню частину першого бродильного ферментеру Р-46. Процес проводиться в анаеробних умовах при температурі 32 – 34° протягом 5 – 7 год. рН середовища повинно складати близько 4,5. Бродіння завершується в другому бродильному ферментері Р-47, де зброджуються цукри, що залишилися після першого ферментеру. Під час бродіння відбувається утворення етилового спирту і вуглекислого газу, останній утворюючи бульбашки і піднімаючись уверх сприяє переміщенню потоків рідини в ферментер створюючи перемішування. Вуглекислий газ, що виділився з кожного ферментеру, поступає в збірник Зб-51, де відбувається захоплення спиртових парів водою. Ферментери представляють собою реактори з секційною сорочкою, вбудованим теплообмінником об'ємом 100 м<sup>3</sup> і не обладнанні механічним перемішувачем. Бражка з Р-49 надходить за допомогою насоса Н-50 у безперервно працюючий сепаратор Ц-49.

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

ТП9 Відділення дріжджів з бражки на сепараторі

По закінченню бродіння бражка подається в безперервно працюючий сепаратор Ц-49. Сепаратор працює при швидкості 4500 – 6000 обертів за хвилину. Продуктивність сепараторів складає 10 – 35 м<sup>3</sup>/год. Відбувається розділення рідини на два потоки: більший, не містить дріжджів і поступає в збірник бражки Зб-51 і менший, що містить дріжджі йде на утилізацію рідких відходів.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                            | 55   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            |      |

Технологічний контроль  $K_T$  полягає у вимірювання числа обертів сепаратору (4500 – 6000 об/хв.), а мікробіологічний контроль  $K_{мб}$  здійснюється для підтвердження відсутності біологічних агентів у збірнику бражки.

#### ТП10 Виділення етанолу на брагоректифікаційній установці

##### ТП10.1 Очищення в бражній колоні

Бражка зі збірника Зб-51 подається на живильну тарілку бражної колони РК-52, яка працює при атмосферному тиску. Пара подається в нижню частину колони. Стікаючи по тарілках вичерпної частини колони вниз, бражка зустрічає на своєму шляху пару, що підіймається вгору. Пара поступово збагачується спиртом, переходить в верхню, закріплюючу частинку колони. Стікаючи вниз бражка поступово звільняється від спирту, звільнена від спирту бражка називається бардою, яка направляється в інший цех на стадію ПВ11.3 для виробництва кормових дріжджів. Бражна колона в верхній закріплюючій частині закінчується дефлегматором Дф-53, в якому конденсуються пари водно-спиртової суміші, що поступають з верхньої тарілки колони.

В  $1 \text{ м}^3$  бражки при температурі  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  розчиняється близько  $1 \text{ м}^3$  вуглекислого газу, утвореного після бродіння. При нагріві бражки гострим паром в нижній частині колони розчинена вуглекислота виділяється і разом з парами спирту піднімається в закріплюючу частину колони і далі в дефлегматор Дф-53. Низькокиплячі фракції, що складаються з спирту, альдегідів і ефірів, проходять через дефлегматор Дф-53 і остаточно конденсуються в холодильнику Х-54, звідки в вигляді флегми стікають назад в колону. Вуглекислий газ відділяється на скрубери.

На даній стадії передбачено технологічний контроль  $K_T$  – контроль за температурою (на живильній тарілці  $93 - 95 \text{ }^\circ\text{C}$ , у нижній частині колони  $103 - 106 \text{ }^\circ\text{C}$ ) і тиском всередині колони (перепад тиску по висоті колони складає  $5 - 25 \text{ кПа}$ ), а також контроль витрат бражки, що поступає в колону і хімічний контроль  $K_x$  – вимірювання концентрації спирту, яка після бражної колони повинна складати близько  $40 \%$ .

##### ТП10.2 Очищення в ректифікаційній колоні

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 56   |



Конденсат насосом Н-55 поступає на живильну тарілку ректифікаційної колони РК-56, яка працює при атмосферному тиску. Ця колона працює аналогічно бражній колоні, але на більш високих концентраціях спирту. В нижню частину колони подається гостра пара, яка поступово забирає спирт зі спиртового конденсату, що стікає вниз по колоні. Звільнена від спирту рідина називається лютером і йде на стадію ПВ11.4. Вміст спирту в лютері складає не більше 0,02 %.

Над верхньою колоною ректифікаційної колони встановлюється дефлегматор Дф-57. Сконденсована в ньому пара стікає назад в колону, а частина низькокиплячих фракцій відбирається у вигляді ефіроальдегідної фракції. В середній частині колони, де міцність спирту складає 45 – 50 %, накопичуються сивушні масла, які представляють собою суміш вищих спиртів.

Етиловий спирт, звільнений від ефірів і альдегідів, а також сивушних масел, відбирається з верхніх тарілок закріплюючої частини ректифікаційної колони і поступає на живильну тарілку метанольної колони РК-59.

На даній стадії передбачено технологічний контроль  $K_T$ , що зумовлений контролем за температурою (на живильній тарілці колони 88 – 90 °С, над верхньою тарілкою 78 – 79 °С, в кубовій частині колони 104 – 105 °С) і тиском (перепад тиску по висоті колони в межах 20 – 30 кПа) в колоні, і за витратами водно-спиртової суміші, що поступає в ректифікаційну колону і хімічний контроль  $K_x$  – контроль за концентрацією спирту (94 – 95 %).

### ТП10.3 Очищення в метанольній колоні

Етиловий спирт концентрацією 94 – 96 % з вмістом метанолу близько 0,7 % за допомогою насосу Н-58 подається на живильну тарілку метанольної колони РК-59, що працює при атмосферному тиску. В метанольній колоні легкокиплячою фракцією є метанол, який піднімається у верхню частину колони, закріплюється в дефлегматорі Дф-60 і зливається у збірники метанольної фракції.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                            | 57   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            |      |

Етиловий спирт, стікаючи по тарілкам, опускається в нижню частину метанольної колони і зливається в збірник етилового спирту Зб-63. Обігрів колони здійснюється глухою парою в виносному підігрівачі Т-61. Водяна пара, що надходить в підігрівач нагріває спирт до кипіння і утворені спиртові пари йдуть на обігрів колони.

На цій стадії передбачений технологічний контроль  $K_T$ – контроль за температурою (на живильній тарілці 80 – 81°C, над верхньою тарілкою 65 – 68 °С, в кубовій частині 82 – 84 °С) і тиском (перепад тиску по висоті колони складає 5 – 10 кПа) в колонні, а також контроль витрат етилового спирту на вході в колону і хімічний контроль  $K_x$ – визначення концентрації етилового і метилового (< 0,5 %) спиртів.

#### ПВ11 Переробка відходів

##### ПВ11.1 Хімічна переробка лігніну.

Лігнін, що залишився після процесу попередньої обробки сировини виділяють в циклоні і відправляють на хімічну переробку.

##### ПВ11.2 Виділення фурфуролу

З конденсату, що містить 0,2 – 0,3 % фурфуролу, виділяють фурфурол на спеціальних установках.

##### ПВ11.3 Використання барди для виробництва кормових дріжджів

Барда, що утворюється в бражній колоні відправляється в дріжджовий цех для отримання з пентоз кормових дріжджів.

##### ПВ11.4 Утилізація лютерної води

Лютерна вода може підлягати очищенню на локальних очисних спорудах і використовуватись як технічна вода або скидається в каналізацію.

##### ПВ11.5 Утилізація сивушної фракції

Сивушну фракцію переробляють для отримання сивушного масла.

#### ЗВ12 Знешкодження відходів

##### ЗВ12.1 Утилізація осаду

Осад з відстійників висушують до вологості в 50 % і вивозять на полігон.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 58   |

### 3.3 Контроль виробництва біоетанолу

Для отримання продукту належної якості, що буде задовольняти вимоги зазначені в НТД, на кожній стадії технологічного процесу здійснюють певні методи контролю. Розглянемо види контролю на кожній стадії технологічного процесу.

На стадії ДР2 приготування розчину реактиву Фентона здійснюють технологічний контроль. В рамках технологічного контролю здійснюють контроль за температурою, яка повинна становити 130 °С. Вимірювання температури здійснюється термометром марки ТСМ.

На стадії ДР3 приготування розчину мінеральних солей і кислот виконують хімічний контроль – його суть полягає в визначенні концентрації мінеральних компонентів: сірчаноокислого амонію 0,2 – 0,5 г/л, фосфорноокислого амонію 0,2 – 0,3 г/л і фосфорної кислоти 0,2 – 0,3 г/л. Визначення концентрацій проводять у пробах, що відбирають у пробовідбірниках.

На стадії ДР5.1 приготування поживного середовища проводять технічний і хімічний контроль. Температура поживного середовища повинна складати 30 °С і вимірюється в апараті термометром марки ТСМ. Цим виконується технологічний контроль. Хімічний контроль полягає в контролі рН середовища в апараті на рівні 4,5 за допомогою датчика рН з вимірювальним перетворювачем рН-101П. Похибка вимірювання даного приладу складає 0,01.

На стадії ДР5.2 культивування спиртових дріжджів здійснюють технологічний, хімічний і мікробіологічний контроль. В рамках технологічного контролю підтримують температуру середовища в апараті 25 – 30 °С. Вимірювання здійснюється термометром марки ТСМ. В відібраних пробах здійснюють хімічний і мікробіологічний контроль: рН повинна складати близько 4,5, а також перевіряють чистоту культури у пробі мікроскопічно у спеціальній лабораторії.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 59   |

На стадії ДР5.3 отримання товарної біомаси, як і на попередній проводять всі види контролю. Проте мікробіологічний контроль на цій стадії полягає окрім визначення чистоти культури, у визначенні концентрації клітин дріжджів в культуральній рідині і вона повинна складати 80 – 100 г/л. Визначення проводять у пробах в спеціальній лабораторії.

На стадії ДР6.1 очищення сировини від домішок проводять технологічний контроль – в сировині допускається вміст домішок не більше 2 – 5 г/кг целюлозовмісної сировини.

На стадії ДР6.2 подрібнення сировини в рамках технологічного контролю розмір частинок відходів порошку кукурудзяних стрижнів доводиться до 0,4 – 0,6 мм. Контролюється на лазерному дифрактомері.

На стадії ТП7.1 попередня обробка сировини відбувається технологічний контроль температури. Температура середовища повинна складати  $130 \pm 5$  °С і вимірюється термометром марки ТСП. Тиск не повинен перевищувати 1,4 МПа і вимірюється манометром MS-100 з класом точності 1.

На стадії ТП7.2 гідроліз сировини виконують технологічний і хімічний контроль. Температура середовища під час процесу повинна складати 50 °С і вимірюється термометром марки ТСП. Тиск у апараті не повинен перевищувати 1,4 МПа і вимірюється манометром MS-100, що має клас точності 1. Відбувається контроль рН рН-метром рН-101П, що вбудований в реактор.

На стадії ТП7.3 випарювання гідролізату здійснюють технологічний контроль – тиск у першому випарному апараті повинен відповідати 0,6 – 0,8 МПа, у другому бути близьким до атмосферного. Тиск у апаратах вимірюється манометрами марки MS-100 з класом точності 1.

На стадії ТП7.4 охолодження нейтралізату здійснюється технологічний контроль. Температура гідролізату повинна бути доведена до 30 °С, даний параметр вимірюється термометром марки ТСМ.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 60   |

На стадії ТП8 зброджування поживного середовища проводять всі три види контролю. Технологічний – контроль за температурою середовища, яка повинна складати 30 – 33 °С, температура вимірюється термометром марки ТСМ; тиск в апараті не повинен перевищувати допустимий і вимірювання тиску здійснюється манометром марки ОБМ1-100, що має клас точності 2,5; витрати культуральної рідини, що надходить, вимірюються ротаметром LZS 1600. Хімічний – підтримання рН на рівні 4,5, рН вимірюється за допомогою датчика з перетворювачем рН-101П. Мікробіологічний – відібрані проби досліджують на наявність сторонньої мікрофлори, визначають кількість синтезованого продукту і залишок незброджених моносахаридів. Дані визначення проводять у лабораторії при використанні відповідного обладнання.

На стадії ТП9 відділення дріжджів з бражки на сепараторі технологічний контроль полягає в дотриманні швидкості обертання ротору сепаратора 4500 – 6000 об/хв, а мікробіологічний контроль проводиться з метою встановлення відсутності мікрофлори в бражці, що пройшла сепаратор.

На стадії ТП10.1 очищення в бражній колоні здійснюють технологічний і хімічний контроль. В рамках технологічного контролю проводять контроль за температурою, тиском в апараті і витратами бражки. Значення температури в апараті повинні відповідати: на живильній тарілці 93 – 95 °С, у нижній частині колони 103 – 106 °С. Температура вимірюється термометром марки ТСП. Тиск в апараті повинен бути атмосферним і різниця тисків по висоті колони повинна бути в межах 5 – 25 кПа. Тиск вимірюється манометром марки MS-100 з класом точності 1. Витрата бражки вимірюється ротаметром LZS 1600. У пробі водно-спиртової суміші визначаються вміст спирту, який повинен бути в межах 20 – 40 %. Для вимірювання концентрації спирту використовують спиртові ареометри марки АСП-1 з класом точності 0,1 %. Цим забезпечується хімічний контроль.

На стадії ТП10.2 очищення в ректифікаційній колоні виконують контроль як і в бражній при використанні однакових контрольно-вимірювальних приладів, проте параметри процесу інші. Температура на

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 61   |

живильній тарілці колони 88 – 90 °С, над верхньою тарілкою 78 – 79 °С, в кубовій частині колони 104 – 105 °С. Допустима різниця тисків по висоті колони 20 – 30 кПа. Концентрація спирту повинна складати не менше 94 % об..

На стадії ТП10.3 очищення в метанольній колоні проводиться аналогічний попереднім колонам контроль. Температура в колоні на живильній тарілці 80 – 81 °С, над верхньою тарілкою 65 – 68 °С, в кубовій частині 82 – 84 °С. Різниця тисків по висоті колоні допускається 5 – 10 кПа. Концентрації метанолу і етанолу визначаються спиртовими ареометрами АСП-1 і мають бути менше 0,5 % і не менше 94 % відповідно.

При здійсненні даного контролю здійснення технологічного процесу перебігатиме без ускладнень, а якість продукту виробництва буде відповідати вимогам НТД. У таблиці 3.2 наведені параметри контролю.

Табл. 3.2. Параметри контролю на виробництві

| № | Найменування стадії процесу                     | Параметр, що контролюється      | Частота контролю | Норми технологічного режиму та допустимі відхилення | Метод контролю параметра, тип приладу |
|---|---|---------------------------------|------------------|---|---------------------------------------|
| 1 | Приготування розчину реактива Фентона           | Температура                     | Постійно         | 130±5 °С  | Термометр ТСМ                         |
| 2 | Приготування розчину мінеральних солей і кислот | Концентрації кожного компоненту | Кінцевий         | Згідно технічного регламенту                        | Хімічні методи кількісного визначення |

|   |                                   |   |   |   |  |
|---|-----------------------------------|---|---|---|--|
| 3 | Приготування поживного середовища | Температура<br>рН   | Постійно<br>Постійно                          | 30±2 °С<br>4,5±0,1  | Термометр<br>рН-101П                       |
| 4 | Культивування спиртових дріжджів  | Температура<br>рН<br>М/б чистота                              | Постійно<br>Постійно<br>1 год                 | 30±2 °С<br>4,5±0,1<br>Відсутність сторонньої мікрофлори               | Термометр<br>рН-101П                       |
| 5 | Отримання товарної біомаси        | Температура<br>рН<br>М/б чистота<br><br>Концентрація дріжджів | Постійно<br>Постійно<br>1 год<br><br>Кінцевий | 30±2 °С<br>4,5±0,1<br>Відсутність сторонньої мікрофлори<br>80-100 г/л | Термометр<br>рН-101П                       |
| 6 | Очищення сировини                 | Кількість домішок   | Кінцевий                                      | 2-5 г/кг  |  |
| 7 | Попередня обробка сировини        | Температура<br>Тиск   | Постійно<br>Постійно                          | 130±5 °С<br>До 1,4 МПа  | Термометр<br>Манометр                      |
| 8 | Гідроліз сировини                 | Температура<br>Тиск<br><br>рН                                 | Постійно<br>Постійно<br><br>Постійно          | 50 °С<br>Не більше 1,4 МПа<br>4,2 – 4,5                               | Термометр<br>Манометр<br>MS-100<br>рН-метр |
| 9 | Випарювання гідролізату           | Тиск  | Постійно                                      | 0,6 – 0,8 МПа у першому і 1 МПа у другому апараті                     | Манометр<br>и MS-100                       |

|    |   |  |   |  |  |
|----|---|--|---|--|--|
| 10 | Охолодження<br>нейтралізату             | Температура  | Постійно  | 30 ±4 °С   | Термометр  |
| 11 | Зброджування<br>поживного<br>середовища | Температура<br>рН<br>Тиск<br>М/б чистота<br><br>Кількість<br>спирту<br>Залишок<br>незброджених<br>гекзос         | Постійно<br>Постійно<br>Постійно<br>1 год<br><br>1 год<br>2 год | 30 - 33 °С<br>4,5±0,1<br>1,1 ± 0,1 МПА<br>Відсутність<br>сторонньої<br>мікрофлори<br>Не менше 1 %<br>Не більше 1,5 %       | Термометр<br>рН-101П<br>ОБМІ-100                             |
| 12 | Відділення<br>дріжджів з<br>бражки      | Швидкість<br>обертів<br>М/б чистота  | Постійно<br>Кінцевий  | 4500 – 6000<br>об/хв<br>Відсутність<br>мікрофлори в<br>бражці  | Сепаратор  |
| 13 | Очищення в<br>бражній колоні            | Температура:<br>живильна<br>тарілка<br>нижня частина;<br>Тиск<br><br>Витрата<br>бражки<br>Концентрація<br>спирту | Постійно<br><br>Постійно<br><br>Постійно<br>30 хв               | 93 – 95 °С<br><br>103 – 106 °С<br>Різниця тисків<br>по висоті<br>колони 5 – 25<br>кПа<br>Згідно<br>регламенту<br>20 – 40 % | Термометр<br>ТСП<br><br>Манометр<br><br>Ротаметр<br>LZS 1600 |



|    |                                   |  |  |  |                           |
|----|-----------------------------------|--|--|--|---------------------------|
| 14 | Очищення в ректифікаційній колоні | Температура: живильна тарілка над верхньою тарілкою в кубовій частині<br>Концентрація спирту                       | Постійно<br><br>30 хв                          | 88 – 90 °С<br><br>78 – 79 °С<br><br>104 105 °С<br><br>Не менше 94 % об.  | Термометр                 |
| 15 | Очищення в метанольній колоні     | Температура: живильна тарілка над верхньою тарілкою в кубовій частині<br>Тиск<br><br>Концентрація метанолу етанолу | Постійно<br><br>Постійно<br><br>30 хв<br>30 хв | 80 – 81 °С<br><br>65 – 68 °С<br><br>82 – 84 °С<br><br>Різниця тисків по висоті колони 5 – 10 кПа<br><br>Менше 0,5 %<br>Не менше 94 % | Термометр<br><br>Манометр |

### 3.4. Матеріальний баланс

Матеріальний баланс складений на 10 кг біоетанолу і наведений у табл.

3.3.

Таблиця 3.3. Матеріальний баланс процесу виробництва біоетанолу

| Використано                                    |  |           | Отримано                              |   |            |
|--|--|-----------|---------------------------------------|---|------------|
| Стадія   | Назва сировини, матеріалів та напівпродуктів | Кількість | Стадія                                | Назва кінцевого продукту або напівпродукту, відходів та втрат | Кількість  |
|  |  | кг        |                                       |   | кг         |
| Стадія попередньої обробки сировини<br>2206,92 | Кукурудзяні стрижні                          | 94        | Стадія попередньої обробки сировини   | Лігнін  | 145,6      |
|  | FeCl <sub>3</sub>                            | 0,6       |                                       | Оброблена сировина  | 900        |
|  | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>                | 2,7       |                                       |   |            |
|  | Вода   | 812,7     |                                       |   |            |
|  | DMSO   | 135,6     |                                       |   |            |
| Стадія гідролізу                               | Оброблена сировина                           | 900       | Стадія гідролізу                      | Гідролізат  | 920        |
|  | Целюлаза                                     | 9,9       |                                       |   |            |
|  | Карбонат кальцію                             | 33,75     |                                       | Втрати  | 23,65      |
| Стадія отримання поживного середовища          | Гідролізат                                   | 920       | Стадія отримання поживного середовища | Поживне середовище  | 710        |
|  | Мінеральні солі                              | 1         |                                       | Конденсат   | 142,4      |
|  |  |           |                                       | Фурфурол  | 0,5        |
|  |  | Втрати    |                                       | 68,1  |            |
| Стадія зброджування                            | Поживне середовище                           | 710       | Стадія зброджування                   | Бражка  | 650        |
|  | Біомаса дріжджів                             | 79        |                                       | Вуглекислий газ   | 5          |
|  |  |           |                                       | Клітини дріжджів  | 52         |
|  |  |           |                                       | Втрати  | 82         |
|  | Бражка                                       | 650       |                                       | Барда   | 1000       |
|  |  |           | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i>            |   |            |
| Змн.   | Арк.   | № докум.  | Підпис                                | Дата  | Арк.<br>66 |

|                             |             |         |                             |                 |         |
|-----------------------------|-------------|---------|-----------------------------|-----------------|---------|
| Стадія<br>ректифіка-<br>ції | Гостра пара | 1863    | Стадія<br>ректифіка-<br>ції | Вуглекислий газ | 2,2     |
|                             |             |         |                             | Лютерна вода    | 1500    |
|                             |             |         |                             | Сивушні масла   | 0,2     |
|                             |             |         |                             | Метанол         | 0,1     |
|                             |             |         |                             | Біоетанол       | 10      |
|                             |             |         |                             | Втрати          | 0,5     |
| Всього:                     |             | 6212,25 | Всього:                     |                 | 6212,25 |

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 67   |

## 4. ПІДБІР І РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ

### 4.1. Підбір обладнання

Щоб досягнути очікуваного виробітку продукції на рік ( $P_p=10\,000$  т біостанолу) в день треба виробляти:

$$m_{\text{сп.доб}} = \frac{m_{\text{сп.р}}}{365} = \frac{10000}{365} = 27,4 \text{ т/добу,}$$

де  $m_{\text{сп.доб}}$  – маса спирту, яку необхідно виготовити за добу.

Враховуючи, що бражка перед надходженням в брагоректифікаційну колону має концентрацію спирту  $c_{\text{сп}}=1,5\%$  то її кількість для досягнення денного виробітку повинна складати не менше:

$$m_{\text{бр.доб.}} = \frac{m_{\text{сп.доб}}}{c_{\text{сп}}} = \frac{27,4}{0,015} = 1826 \text{ т/добу, або } m_{\text{бр.доб.}} = 76 \text{ т/год}$$

де  $m_{\text{бр.доб.}}$  – маса бражки за добу

Враховуючи питому швидкість росту дріжджів ( $f= 0,37 \text{ год}^{-1}$ ) для реактору з об'ємом  $V_p=100 \text{ м}^3$  – швидкість потоку  $u$  складе:

$$u = V_p \cdot f = 100 \cdot 0,37 = 37 \text{ м}^3/\text{год}$$

Приймаємо густину середовища, що містить посівний матеріал  $\rho = 1068 \text{ кг/м}^3$ , тоді швидкість потоку  $u$  відповідає  $39,5 \text{ т/год}$ . Цього недостатньо для досягнення проектованої продуктивності, тому встановлюється друга батарея реакторів для зброджування, які працюють одночасно, що забезпечить потрібну денну продуктивність. Для забезпечення ефективної роботи цих реакторів, потрібно подавати кількість гідролізату, що буде відповідати розрахованій швидкості потоку.

З 1 т абсолютно сухої сировини утворюється 16 т гідролізату. При випарюванні гідролізату кількість гідролізату зменшується на близько 10 %:

$$16 \cdot 0,9 = 14,4 \text{ т}$$

|                 |      |                       |        |      |                                       |  |  |   |         |
|-----------------|------|-----------------------|--------|------|---------------------------------------|--|--|---|---------|
|                 |      |                       |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i>            |  |  |   |         |
| Змн.            | Лист | № докум.              | Підпис | Дата | <i>Підбір і розрахунок обладнання</i> |  |  |   |         |
| <i>Розроб.</i>  |      | <i>Балацький А.Е.</i> |        |      |                                       |  |  | Арк.                                      | Аркушів |
| <i>Конс.</i>    |      | <i>Щурська К.О.</i>   |        |      |                                       |  |  | 68  |         |
| <i>Керівник</i> |      | <i>Щурська К.О.</i>   |        |      |                                       |  |  | <i>КПІ ім. І.Сікорського<br/>ФБТ, КЕБ</i> |         |

Отже з 1 т сировини отримуємо 14,4 т гідролізату. При додаванні поживних солей (1 кг на 1 т гідролізату) та інокуляту (100 кг на 1 т) отримаємо:

$$14400 + (100 + 1) \cdot 14,4 = 15800 \text{ кг,}$$

Отже маємо 15,8 т культуральної рідини, що готова до зброджування. Потрібно забезпечити надходження не менше 76 т культуральної рідини на годину:

$$76 / 15,8 = 4,81 \text{ т}$$

Отже, для цього потрібно 4,81 т сировини. Для гідролізу такої кількості сировини пропонується використати два гідролізних апарати об'ємом 50 м<sup>3</sup> і коефіцієнтом заповнення 0,5, що зможуть зброджувати по 2500 кг, що буде достатньо для забезпечення ферментерів культуральною рідиною.

## 4.2. Конструктивний розрахунок апарата для гідролізу

Номінальний об'єм апарату для гідролізу складає 50 м<sup>3</sup>. Для реакторів об'ємом 50 м<sup>3</sup> стандартний діаметр складає 3000 мм.

Виходячи з діаметру апарату визначимо конструктивні розміри еліптичного днища:

$$h_{ел} = 0,25D_{вн} = 0,25 \cdot 3,0 = 0,75 \text{ м.}$$

Решту конструктивних розмірів днища знайдемо з ГОСТ 6533-78:

- $h_1 = 60$  мм – висота основи еліптичного днища;
- $F_{внд} = 10,32$  м<sup>2</sup> – внутрішня поверхня еліптичного днища;
- $V_{дн} = 3,94$  м<sup>3</sup> – об'єм еліптичного днища;
- $\delta_0 = 12$  мм – товщина стінки еліптичного днища.

Повна висота еліптичного днища:

$$h_{дн} = h_1 + h_n = 0,06 + 0,75 = 0,81 \text{ м.}$$

Об'єм циліндричної частини апарату:

$$V_{ц} = V_n - 2V_{дн} = 50 - 2 \cdot 3,94 = 42,12 \text{ м}^3.$$

Висота циліндричної частини апарату:

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 69   |

$$H_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot V_{\text{ц}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 42,12}{3,14 \cdot 3,0^2} = 5,96 \text{ м.}$$

Висота рідини в циліндричній частині:

$$H_{\text{рц}} = \frac{4 \cdot K_3 \cdot V_{\text{ц}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 42,12}{3,14 \cdot 3,0^2} = 2,98 \text{ м.}$$

Висота стовпа рідини в апараті:

$$H_{\text{р}} = H_{\text{рц}} + h_{\text{он}} = 2,98 + 0,81 = 3,79 \text{ м.}$$

Загальна висота апарату без штуцерів, без опор складає:

$$H_{\text{заг}} = H_{\text{ц}} + 2 \cdot h_{\text{он}} = 5,96 + 2 \cdot 0,81 = 7,58 \text{ м.}$$

### 4.3. Розрахунок інокулятора

Номинальний об'єм реактора де змішується поживне середовище з дріжджами складає 63 м<sup>3</sup>. Коефіцієнт заповнення інокулятора складає 0,7.

Для реактору об'ємом 63 м<sup>3</sup> стандартний діаметр складає 3200 мм.

Виходячи з діаметру апарату визначимо конструктивні розміри еліптичного днища:

- $h_{\text{н}} = 800$  мм – висота еліптичного днища;
- $h_{\text{л}} = 60$  мм – висота основи еліптичного днища;
- $F_{\text{внд}} = 11,70$  м<sup>2</sup> – внутрішня поверхня еліптичного днища;
- $V_{\text{он}} = 4,75$  м<sup>3</sup> – об'єм еліптичного днища;
- $\delta_{\text{д}} = 12$  мм – товщина стінки еліптичного днища.

Повна висота еліптичного днища:

$$h_{\text{он}} = h_{\text{л}} + h_{\text{н}} = 0,06 + 0,8 = 0,86 \text{ м.}$$

Об'єм циліндричної частини реактора:

$$V_{\text{ц}} = V_{\text{н}} - 2V_{\text{он}} = 63 - 2 \cdot 4,75 = 53,5 \text{ м}^3.$$

Висота циліндричної частини реактора:

$$H_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot V_{\text{ц}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 53,5}{3,14 \cdot 3,2^2} = 6,65 \text{ м.}$$

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                            | 70   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            |      |

Висота рідини в циліндричній частині:

$$H_{pc} = \frac{4 \cdot K_3 \cdot V_{ц}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,7 \cdot 53,5}{3,14 \cdot 3,2^2} = 4,66 \text{ м.}$$

Висота стовпа рідини в реакторі:

$$H_p = H_{pc} + h_{дн} = 4,66 + 0,86 = 5,52 \text{ м.}$$

Загальна висота реактору без штуцерів, без опор складає:

$$H_{заг} = H_{ц} + 2 \cdot h_{дн} = 6,65 + 2 \cdot 0,86 = 8,37 \text{ м.}$$

Оскільки, на цій стадії виробництво спирту не є бажаним, то реактор обладнаний мішалкою і барботером для запобігання спиртовому бродінню.

#### 4.3.1. Розрахунок перемішуючого пристрою інокулятора

В якості пристрою для перемішування культуральної рідини в реакторі приймемо турбінну мішалку, схема якої зображена на рис.4.1.

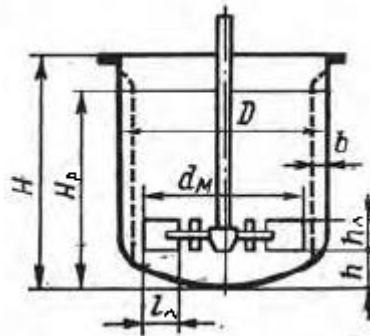


Рис. 1. Схема турбінної мішалки 4.1 [29].

Діаметр турбінної мішалки визначається з формули:

$$d_m = (0,2 - 0,3)D = (0,2 - 0,3) \cdot 3200 = 640 - 960 \text{ мм.}$$

Приймемо стандартну турбінну мішалку діаметром 900 мм.

Розрахуємо розміри мішалки:

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

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

Висота від днища до мішалки:

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

Критерій опору:

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 71   |

$$\zeta_M=8,4.$$

Кутова швидкість турбінних мішалок при динамічній в'язкості середовища менше 10 Па·с складає від 2,5 до 10 м/с. Прийmemo кутову швидкість  $\omega = 8$  м/с.

Розрахуємо частоту обертання мішалки:

$$n = \frac{\omega}{\pi \cdot d_m} = \frac{8}{3,14 \cdot 0,9} = 2,83 \text{ с}^{-1}.$$

Прийmemo стандартне значення частоти обертання мішалки  $n = 3 \text{ с}^{-1}$  і розрахуємо відповідну кутову швидкість:

$$\omega = \pi \cdot d_m \cdot n = 3,14 \cdot 0,9 \cdot 3 = 8,48 \text{ м/с}.$$

Для визначення необхідності встановлення відбиваючих перегородок розрахуємо глибину воронки:

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{n \cdot d_m^2 \cdot \rho_p}{\mu_p} = \frac{3 \cdot 0,9^2 \cdot 1070}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 173,34 \cdot 10^4$$

де  $\rho_p$  – густина культуральної рідини в реакторі;  $\mu_p$  – коефіцієнт динамічної вязкості.

Параметр Г:

$$G = \frac{8 \cdot H_p}{D} + 1 = \frac{8 \cdot 5,52}{3,2} + 1 = 14,8,$$

де  $H_p$  – висота рідини в апараті;  $D$  – діаметр апарату.

Параметр Е:

$$E = \frac{G}{\zeta_M \cdot z \cdot Re^{0,25}} = \frac{14,8}{8,4 \cdot 3 \cdot (173,34 \cdot 10^4)^{0,25}} = 0,016,$$

де  $\zeta_M$  – критерій опору;  $z$  – кількість мішалок на валу (3).

Глибина воронки в реакторі без відбиваючих перегородок:

$$h_g = \frac{B \cdot n^2 \cdot d_m^2}{2} = \frac{2,5 \cdot 3^2 \cdot 0,9^2}{2} = 9,11 \text{ м},$$

де  $B$  – параметр, значення якого визначається з номограми (рис. 4.2) в залежності від  $E$  і типу мішалку.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 72   |



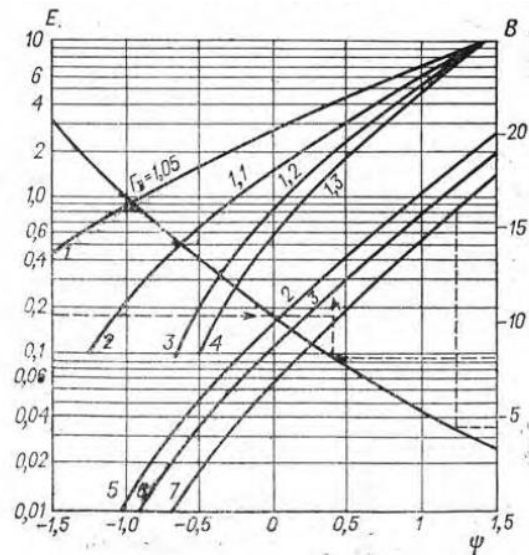


Рис. 4.2. Номограма до розрахунку глибини воронки [29]:

1,2,3,4 – мішалки якорні і рамні; 5,6,7 – турбінні, трьох і двухлопастні

Гранично допустима глибина воронки:

$$h_{\text{дон}} = H_p - h = 5,52 - 0,45 = 5,07 \text{ м.}$$

Так як глибина воронки вище допустимого значення необхідне встановлення відбиваючих перегородок. Розрахуємо ширину перегородки:

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

#### 4.3.2. Розрахунок барботеру

Діаметр на якому розміщенні отвори в барботері:

$$D_o = (0,75 - 1) \cdot d_m = 0,8 \cdot 900 = 720 \text{ мм.}$$

Відстань від мішалки до барботеру:

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

Визначимо витрати повітря  $V_2$  в інокуляторі. Витрати повітря повинні бути такими, щоб метаболізм дріжджів був пригнічений і дріжджі мінімально споживали субстрат. Згідно рекомендацій, на 1 одиницю об'єму культуральної рідини за 1 хв витрачається 0,5 одиниць об'єму повітря [9]. Отже, на робочий об'єм  $44,1 \text{ м}^3$  витрати повітря складають  $22,05 \text{ м}^3/\text{хв} = 1323 \text{ м}^3/\text{год}$ .

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 73   |

Швидкість газу в отворах  $W_o$  прийmemo 40 м/с, тоді внутрішній діаметр барботеру:

$$d_{\text{бвн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_z}{W_o \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1323}{40 \cdot 3600 \cdot 3,14}} = 0,11 \text{ м.}$$

Умова  $D_o = 8d_{\text{бвн}}$  виконується, тому прийmemo стандартну трубу 52/60 мм.

Розрахуємо кількість отворів в барботері:

$$z = \frac{4 \cdot V_z}{W_o \cdot \pi \cdot d_o^2} = \frac{4 \cdot 1323}{40 \cdot 3600 \cdot 3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2} = 468,$$

де  $d_o$  – діаметр газорозподільних пристроїв (5 мм).

Кількість отворів в 1 ряду:

$$z_1 = \frac{\pi \cdot D_o}{t} = \frac{3,14 \cdot 720}{25} = 90,43,$$

де  $t$  – крок між отворами, прийmemo 25 мм.

Кількість рядів:

$$n = \frac{z}{z_1} = \frac{468}{90,43} = 5,17 \approx 5.$$

#### 4.3.3. Розрахунок потужності, що витрачається на перемішування

Потужність приводу перемішуючого пристрою розраховується за формулою [29]:

$$N_{\text{ел}} = \frac{K_n \cdot K_{\text{н}} \cdot \sum K_i \cdot N + N_{\text{ущ}}}{\eta},$$

де  $K_n$  – коефіцієнт, що вказує на присутність в апараті відбиваючих перегородок  $K_n = 1$ ;  $K_{\text{н}}$  – коефіцієнт рівня рідини в апараті;  $K_i$  – коефіцієнт, що враховує наявність в апараті внутрішніх пристроїв ( $K_i = 1,1$ );  $N$  – потужність, що витрачається на перемішування;  $N_{\text{ущ}}$  – потужність, що витрачається на подолання тертя ущільнення валу мішалки;  $\eta$  – ККД двигуна (0,85..0,9).

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 74   |

Для визначення потужності, що витрачається на перемішування необхідно визначити коефіцієнт  $K_n$ , який визначається в залежності від значення коефіцієнта Рейнольдса:

$$Re = \frac{n \cdot d_m^2 \cdot \rho_p}{\mu_p} = \frac{3 \cdot 0,9^2 \cdot 1070}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 173,34 \cdot 10^4.$$

При даному значенні  $Re$  коефіцієнт  $K_n$  для турбінної мішалки дорівнює 7 [28].

Розрахуємо потужність, що витрачається на перемішування:

$$N = K_n \cdot \rho_p \cdot n^3 \cdot d_m^5 = 7 \cdot 1070 \cdot 3^3 \cdot 0,9^5 = 1194148 \text{ Вт}.$$

Враховуючи, що через рідину подають повітря, то потужність, що витрачається на перемішування газорідинної суміші визначається за формулою:

$$N_{zp} = N \cdot (1 - \varphi),$$

де  $\varphi$  – газовміст системи.

Газовміст визначається за формулою:

$$\varphi = \left( \frac{W_z \cdot \rho_z}{U_n} \right)^{0,5} + 2,16 \cdot 10^{-4} \frac{\varepsilon_m^{0,4} \cdot \rho_p^{0,2}}{\sigma_p^{0,6}} \cdot \left( \frac{W_z}{U_n} \right)^{0,5}.$$

Проведемо розрахунки необхідних складових формули:

$$W_z = \frac{4 \cdot V_z}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 1323}{3,14 \cdot 3,2^2 \cdot 3600} = 0,046 \text{ м/с};$$

густина газу:

$$\rho_z = 1,29 \frac{273}{t_p + 273} = 1,29 \frac{273}{24 + 273} = 1,19 \text{ кг/м}^3;$$

швидкість спливання пухирців газу:

$$U_n = 1,5 \cdot \left( \frac{\sigma_p \cdot g \cdot \Delta \rho}{\rho_p^2} \right)^{0,25} = 1,5 \cdot \left( \frac{0,06 \cdot 9,8 \cdot (1070 - 1,19)}{1070^2} \right)^{0,25} = 0,23 \text{ м/с};$$

$$\varepsilon_m = \frac{N}{V_p} = \frac{1194148}{44,1} = 2707,82 \text{ Вт/м}^3.$$

Підставивши отримані значення в формулу для газовмісту отримаємо:

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 75   |

$$\varphi = \left( \frac{0,046 \cdot 1,19}{0,23} \right)^{0,5} + 2,16 \cdot 10^{-4} \frac{2707,82^{0,4} \cdot 1070^{0,2}}{0,06^{0,6}} \left( \frac{0,046}{0,23} \right)^{0,5} = 0,498.$$

Визначимо потужність, що витрачається на перемішування газорідної суміші:

$$N_{ep} = 1194148(1 - 0,498) = 5994623 \text{ Вт.}$$

Коефіцієнт рівня рідини в апараті визначається з формули:

$$K_n = \left( \frac{H_3}{D} \right)^{0,5} = \left( \frac{5,52}{3,2} \right)^{0,5} = 1,31.$$

Потужність, що витрачається на подолання тертя в торцевому ущільненні розраховують по формулі:

$$N_{ущ} = 6020 \cdot d_d^{1,3},$$

де  $d_d$  – діаметр валу мішалки. Прийmemo вал діаметром 100 мм.

Тоді

$$N_{ущ} = 6020 \cdot 0,1^{1,3} = 301,71 \text{ Вт.}$$

Отже, потужність приводу перемішуючого пристрою:

$$N_{el} = \frac{1 \cdot 1,31 \cdot 1,1 \cdot 5994623 + 301,71}{0,9} = 9631581 \text{ Вт.}$$

#### 4.4. Конструктивний розрахунок ферментеру для зброджування гідролізату целюлозовмісних відходів

Номінальний об'єм ферментерів для зброджування поживного середовища, що використовуються в спиртовій промисловості, складає  $100 \text{ м}^3$ . Так як середовище в апараті не піниться, то прийmemo коефіцієнт заповнення  $K_3 = 0,7$ .

Для реакторів об'ємом  $100 \text{ м}^3$  стандартний діаметр складає 3600 мм.

Виходячи з діаметру апарату визначимо конструктивні розміри еліптичного днища:

- $h_n = 900$  мм – висота еліптичного днища;
- $h_l = 60$  мм – висота основи еліптичного днища;

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 76   |

- $F_{внд} = 14,73 \text{ м}^2$  – внутрішня поверхня еліптичного днища;
- $V_{дн} = 6,69 \text{ м}^3$  – об’єм еліптичного днища;
- $\delta_0 = 12 \text{ мм}$  – товщина стінки еліптичного днища.

Повна висота еліптичного днища:

$$h_{дн} = h_1 + h_n = 0,06 + 0,9 = 0,96 \text{ м.}$$

Об’єм циліндричної частини реактора:

$$V_{ц} = V_n - 2V_{дн} = 100 - 2 \cdot 6,69 = 86,62 \text{ м}^3.$$

Висота циліндричної частини реактора:

$$H_{ц} = \frac{4 \cdot V_{ц}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 86,62}{3,14 \cdot 3,6^2} = 8,51 \text{ м.}$$

Висота рідини в циліндричній частині:

$$H_{рц} = \frac{4 \cdot K_3 \cdot V_{ц}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,7 \cdot 86,62}{3,14 \cdot 3,6^2} = 5,96 \text{ м.}$$

Висота стовпа рідини в реакторі:

$$H_p = H_{рц} + h_{дн} = 5,96 + 0,96 = 6,92 \text{ м.}$$

Загальна висота апарату без штуцерів, без опор складає:

$$H_{заг} = H_{ц} + 2 \cdot h_{дн} = 8,51 + 2 \cdot 0,96 = 10,33 \text{ м.}$$

Оскільки реактор не обладнаний механічним перемішуючим пристроєм і не проводиться барботування середовища, то розрахунок мішалки, барботера не проводиться.

#### 4.5. Вибір загальнозаводського обладнання

На виробництві використовуються об’ємно-вагові дозатори ДОП 5000, що дозволяють з високою точністю проводити завантаження обладнання.

Для забезпечення необхідної швидкості потоку на виробництві використовуються відцентрові, горизонтальні, консольні насоси ЦНБК 100/40 з робочим колесом закритого типу. Максимальна продуктивність насосів складає  $100 \text{ м}^3/\text{год}$ , що дозволить регулювати швидкість потоків рідини на

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 77   |

виробництві в широких межах. Габаритні розміри насосу: 1300/500/120 мм, а маса становить 280 кг.

Для перекачування реактиву Фентона, мінеральних кислот та солей використовується горизонтальний відцентровий насос МВ 150 з робочим колесом відкритого типу. Що має максимальну продуктивність 75 м<sup>3</sup>/год. Габаритні розміри насосу: 529/277/190 мм і масу 40 кг.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 78   |

## 5. АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ З ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ

Автоматизація стадії зброджування сприяє підвищенню ефективності і надійності роботи ферментерів за рахунок контролю стану обладнання і параметрів процесу бродіння, підвищенню безпеки роботи з обладнанням і скороченню експлуатаційних витрат.

Автоматизація стадії зброджування на виробництві біоетанолу з відходів кукурудзи показана на кресленні (формат А1) згідно з позначеннями технологічної та апаратурної схем.

### 5.1. Опис технологічного процесу на стадії зброджування

Процес бродіння проводиться в безперервному режимі в двох послідовно встановлених ферментерах (рис. 5.1), що обладнанні секційною сорочкою. З попередньої стадії в перший ферментер подається поживне середовище з певною концентрацією дріжджових клітин. Процес бродіння проводять в анаеробних умовах при температурі 32 – 34 °С і при рН близькому до 4,5. Ферментери не обладнанні механічними перемішувачами, оскільки перемішування відбувається за рахунок виділення вуглекислого газу дріжджами в процесі ферментації. В перший ферментер постійно подається свіже поживне середовище, а культуральна рідина поступає в наступний ферментер, де відбувається зброджування цукрів, що залишились. Після закінчення бродіння, культуральна рідина з другого ферментеру поступає на сепаратори на наступну стадію, де відбувається відділення клітин дріжджів.

|                 |      |                       |        |      |                            |  |   |         |
|-----------------|------|-----------------------|--------|------|----------------------------|--|---|---------|
|                 |      |                       |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> |  |   |         |
| Змн.            | Лист | № докум.              | Підпис | Дата | <i>АВТОМАТИЗАЦІЯ</i>       |  | Арк.                                      | Аркушів |
| <i>Розроб.</i>  |      | <i>Балацький А.Е.</i> |        |      |                            |  | 79  |         |
| <i>Конс.</i>    |      | <i>Мельник В.М.</i>   |        |      |                            |  |   |         |
| <i>Керівник</i> |      | <i>Щурська К.О.</i>   |        |      |                            |  | <i>КПІ ім. І.Сікорського<br/>ФБТ, КЕБ</i> |         |





Система автоматичного регулювання налаштована так, що у разі зміни рівня або витрати рідини сигнал про зміну отримає відповідний виконавчий пристрій та, відповідно, подається більше чи менше рідини у потрібний ферментер.

Також, в системі, на щиті керування відображаються та реєструються необхідні параметри процесу очищення. В разі нормальної роботи системи на щиті горять зелені лампочки, а при критичних значеннях параметрів або аварійних ситуаціях загораються червоні лампочки.

## **5.2. Основні рішення по автоматизації**

### **5.2.1 Технологічний контроль**

Технологічному контролю підлягають:

- температура культуральної рідини в ферментерах вимірюється за допомогою термоперетворювачів опору ТСМ-1088 (поз. 1-1, 4-1), для реєстрації та виведення значення температури використовується реєстратор РМТ-49Д (поз. 1-2, 4-2). Регулятор МІК-21 (поз. 1-3, 4-3) зрівнює виміряну температуру з потрібною температурою, яку задає пристрій ЗУ-50 (поз. 1-4, 4-4). При потребі сигнал передається на виконуючий пристрій – пускач безконтактний реверсивний ПБР-3 (поз. 1-5, 4-5), що регулює подачу охолоджуючої води в сорочку ферментера. Виконавчі механізми поз. ВМ 1 та ВМ 5 відповідно.

- рН культуральної рідини в ферментерах вимірюється за допомогою рН-метра рН-150 МП (поз. 2-1, 5-1). За допомогою перетворювача електричних сигналів П-201 (поз 2-2, 5-2) сигнал передається на реєструючий прилад РМТ-49Д (поз. 2-3, 5-3).

- тиск в ферментерах вимірюється за допомогою манометра МЦ-1-10 (поз. 3-1, 6-1) і результат виводиться на щиті за допомогою МТС-711(поз. 3-2, 6-2);

- рівень рідини в ферментері за допомогою рівнеміра УБ-ПА(поз. 7-1, 8-1) і блоку управління та індикації УРМ-10А-2 (поз. 7-2, 8-2).

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 81   |

- витрата поживного середовища у вхідному трубопроводі, культуральної рідини у з'єднуючому трубопроводі та вихідному трубопроводі вимірюється за допомогою камерної діафрагми ДКС-50 (поз. 9-1, 10-1, 11-1), вимірювальних тензоперетворювачів «Сапфир-22ДД», мод.2450 (поз. 9-2, 10-2 11-2) та реєструється за допомогою мікропроцесорних реєстраторів РМТ-39АМ/6 (поз. 9-3, 10-3, 11-3), при невідповідності витрат сигнал передається на виконуючий пристрій ПБР-3 (поз. 9-4, 10-4, 11-4), що збільшує чи зменшує витрату рідини. Виконавчі механізми ВМ 2, ВМ 3 та ВМ 4 відповідно.

### 5.2.2. Автоматичне регулювання

Автоматично регулюються наступні параметри:

- температура середовища в ферментерах за допомогою пускача безконтактного реверсивного ПБР-3 (поз. 1-5, 4-5);
- витрата поживного середовища, що надходить у перший ферментер та витрати культуральної рідини в трубопроводі між ферментерами та на виході з другого ферментера за допомогою пускача безконтактного реверсивного ПБР-3 (поз. 9.4, 10.4, 11.4).

### 5.2.3. Сигналізація та захист

Сигналізуються наступні події:

- відхилення температури середовища від оптимального значення (НЛ1, НЛ 7);
- відхилення рН середовища від оптимального значення (НЛ 3, НЛ 9);
- значне збільшення або зменшення тиску в ферментерах (НЛ 5, НЛ 11);
- перевищення критичних значень рівня середовища в ферментерах (НЛ 13, НЛ 15);
- відхилення значення витрат середовища від оптимального (НЛ 17, НЛ 19, НЛ 2).

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 82   |

## 5.2.4. Специфікація засобів автоматизації

Специфікація засобів автоматизації приведена в таблиці 5.1

Табл. 5.1. Специфікація засобів автоматизації

| № позиції за схемою | шифр | Найменування параметру, середовища та місце відбору сигналу | Граничне значення параметру | Місце установки | Найменування, характеристика   | Тип моделі | Число по проекту | Потрібно фактично |
|---------------------|------|---|-----------------------------|-----------------|--|------------|------------------|-------------------|
| 1-1,<br>4-1         | ТІ   | температура   | 32-<br>34                   | По місцю        | Термоперетворювач опору  | ТСМ-1088   | 2                | 2                 |
| 1-2,<br>4-2         | ТІРА | -   | -                           | На щиті         | Електричний показувальний і реєструвальний прилад  | РМТ-49Д    | 2                | 2                 |
| 1-3,<br>4-3         | ТС   | -   |                             | На щиті         | Мікропроцесорний регулятор, що забезпечує цифрову індикацію та сигналізацію, реалізує дво- та трипозиційне регулювання | МІК-21     | 2                | 2                 |
| 1-4,<br>4-4         | Н    | -   |                             | На щиті         | Задавальний пристрій з цифровою індикацією   | ЗУ-50      | 2                | 2                 |

|                                       |      |                   |                     |             |  |                        |   |   |
|---------------------------------------|------|-------------------|---------------------|-------------|--|------------------------|---|---|
| 1-5,<br>4-5,<br>9-4,<br>10-4,<br>11-4 | NS   | -                 | -                   | На<br>щиті  | Пускач<br>безконтактний<br>реверсивний                     | ПБР-3                  | 5 | 5 |
| 2-1,<br>5-1                           | QE   | pH                | 4,3-<br>4,7         | По<br>місцю | pH-метр  | pH-<br>150M            | 2 | 2 |
| 2-2,<br>5-2                           | QT   | -                 | -                   | По<br>місцю | Перетворювач<br>електричних<br>сигналів                    | П-201                  | 2 | 2 |
| 2-3,<br>5-3                           | QIRA | -                 | -                   | На<br>щиті  | Електричний<br>показувальний і<br>реєструвальний<br>прилад | РМТ-<br>49Д            | 2 | 2 |
| 3-1,<br>6-1                           | PT   | тиск              | 0,9-<br>1,2<br>атм. | По<br>місцю | Манометр з<br>електропередачею                             | МЦ-1-<br>10            | 2 | 2 |
| 3-2,<br>6-2                           | PRA  |                   |                     | На<br>щиті  | Записуючий<br>манометр                                     | МТС-<br>711            | 2 | 2 |
| 7-1,<br>8-1                           | LE   | рівень<br>рідини  | -                   | По<br>місцю | Рівнемір   | УБ-ПА                  | 2 | 2 |
| 7-2,<br>8-2                           | LIA  | -                 |                     | На<br>щиті  | Блок управління<br>та індикації                            | УРМ-<br>10А-2          | 2 | 2 |
| 9-1,<br>10-1,<br>11-1                 | FE   | Витрати<br>рідини | -                   | На<br>щиті  | Камерна<br>діафрагама                                      | ДКС-50                 | 3 | 3 |
| 9-2,<br>10-2,<br>11-2                 | FT   |                   |                     | По<br>місцю | вимірювальний<br>тензоперетворюва<br>ч                     | «Сапфи<br>р-<br>22ДД», | 3 | 3 |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

БЕ71мп.065152.01.МД

Арк.

84

|                       |      |   |   |            |                                    |  |   |   |
|-----------------------|------|---|---|------------|------------------------------------|--|---|---|
|                       |      |   |   |            |                                    | мод.245<br>0   |   |   |
| 9-3,<br>10-3,<br>11-3 | FICA | - | - | На<br>щиті | Показуючий<br>регулюючий<br>прилад | мікропр<br>оцесорн<br>их<br>реєстрат<br>орів<br>PMT-<br>39AM/6 | 3 | 3 |

### Висновок

Розроблена система автоматизації дозволяє з високою ефективністю і надійністю проводити та контролювати процес бродіння в ферментерах. Такі важливі параметри як температура і витрати середовища автоматично регулюються, що дозволяє забезпечити оптимальні параметри для біосинтезу. Система автоматизації розроблена таким чином, що при відхиленні будь-якого параметру за встановлені межі оператор буде сповіщений, що дозволить миттєво зреагувати і зберегти оптимальне проходження процесу бродіння. Автоматизація забезпечує зберігання, оперативну обробку та представлення даних у найбільш інформативному вигляді на всіх рівнях керування, чим підвищує ефективність управлінської діяльності.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 85   |

## 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 6.1. Техніко-економічне обґрунтування

Окрім виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини, існують інші шляхи переробки таких відходів – виробництво паливних гранул і пеллет. Річне виробництво паливних гранул в Україні становить близько 280 тис. т, з яких 1/3 гранул із рослинної сировини та її відходів. Безперечно, пеллети мають свої переваги, як біопаливо. Субсидії держави на твердопаливні котли сприяють підвищенню конкурентної спроможності даного виду твердого палива. Проте, на якість пелет суттєво впливають вміст лігніну і твердість сировини. Тому при виробництві пеллет з целюлозовмісної сировини і з сировини з низьким вмістом лігніну, продукт буде менш якісним, буде більша потреба в споживанні енергії і буде швидшим знос обладнання. Отже, при виробництві пеллет краще використовувати певні енергетичні сорти рослин для кращого ефекту, а не відходи. Також при транспортуванні на великі відстані паливних гранул і пеллет якість продукції погіршується, внаслідок стирання, тому вони мають обмежену зону використання від місця їх виробництва.

Більш ефективною і доцільною буде переробка целюлозовмісної сировини у біоетанол.

Вміст целюлози та інших гексозанів, з яких синтезується біоетанол, високий у кукурудзи та її відходів, таких як кукурудзяні стрижні. Існує можливість виробляти з пентозанів, вміст яких також високий в такій сировині, фурфурол і виділяти лігнін, який знаходить все більше використання [4], що сприятиме економічній ефективності виробництва біоетанолу. Також, при транспортуванні біоетанолу навіть на великі відстані в автоцистернах або в залізничних цистернах (вимоги щодо транспортування викладені в ГОСТ 53200-2008) не виникає

|                 |                       |  |  |  |  |   |             |                |
|-----------------|-----------------------|--|--|--|--|---|-------------|----------------|
|                 |                       |  |  |  | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i>   |   |             |                |
| <i>Розроб.</i>  | <i>Балацький А.Є.</i> |  |  |  | <i>ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА<br/>Техніко-економічне<br/>обґрунтування</i> |   | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Конс.</i>    | <i>Ткаченко Т.П.</i>  |  |  |  |  |   | 86          |                |
| <i>Керівник</i> | <i>Щурська К.О.</i>   |  |  |  |  | <i>КПІ ім. І.Сікорського<br/>ФБТ, КЕБ</i> |             |                |
|                 |                       |  |  |  |  |   |             |                |

труднощів.

На сьогодні існують три основні технології виробництва біоетанолу:

1. Виробництво біоетанолу з цукровмісної сировини;
2. Виробництво біоетанолу з крохмалевмісної сировини;
3. Виробництво біоетанолу з целюлозовмісної сировини (гідролізне виробництво) [9].

Використання целюлозовмісної сировини робить процес виробництва спирту дорожчим і енергозатратнішим за рахунок необхідності гідролізу сировини, на що використовуються значні ресурси. Також в цій сировині менше цукру ніж в зернових культурах чи мелясі. Проте, можливість створення комплексного виробництва, яке окрім етанолу буде виробляти інші продукти, такі як фурфурол, кормові дріжджі та ін. робить дану технологію більш конкурентноспроможною.

Також, як вже зазначалося раніше, щороку в Україні виробництво кукурудзи становить близько 20,0 млн т. і передбачає утворення залишків – кукурудзяних стрижнів, які, зазвичай, не використовуються, а спалюються чи згнивають. Порівняно з 2000 роком, виробництво кукурудзи в 2017 році зросло майже в 6,5 разів (від 3,8млн. т до 24,7млн. т). В деякі роки виробництво кукурудзи займало перше місце серед усіх аграрних культур, перевищуючи за обсягами валового виробництва навіть пшеницю, яка протягом багатьох років була лідером галузі. Відомо, що в загальній масі кукурудзяного качана, приблизно 80% займає зерно, а 20% маси – це стрижні, тобто відходи. Ресурсний потенціал таких відходів виробництва кукурудзи може оцінюватися приблизно в 3,0 – 4,0 млн т. за рік. Таким чином, враховуючи щорічне зростання обсягів виробництва кукурудзи, потенційні ресурсні можливості біомаси відходів в Україні за умови повного використання може бути оцінено в обсягах 5 – 6 млн т[3]. Така висока оцінка ресурсного потенціалу може повністю задовольнити потреби сировини для виробництва біоетанолу і сприятиме розвитку сільськогосподарської та харчової промисловості України. В порівнянні з деревинною сировиною, яка присутня тільки в лісистих регіонах України, таких як Полісся і Карпати, використовувати

|      |      |          |        |      |                            |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                            |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                            |  |  |  |  | 87   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> |  |  |  |  |      |

сировину з відходів виробництва кукурудзи для виробництва біоетанолу є можливість в усіх регіонах України.

Виробництво біоетанолу з відходів кукурудзи має можливість бути повністю забезпеченим сировиною, що грає важливу роль у можливості створення такого виробництва, сприятиме вирішенню паливних проблем України, розвитку галузей країни, що пов'язані з сільським господарством і харчовою промисловістю і, що не менш важливо, матиме деякий позитивний ефект на екологію країни.

### **6.1.1 Визначення потужності виробництва**

Оптимальний обсяг споживання біоетанолу для України становить 250-300 тис. т/рік [1]. Пропонується використовувати біоетанол, як добавки до моторних палива у кількості від 5 до 20%, що сприяє покращенню якості палива. Отже, не є доцільним виробляти біоетанол у занадто великих кількостях. Це може викликати проблеми у реалізації цього проекту, оскільки невикористаний біоетанол буде погіршувати свої властивості при тривалому зберіганні за рахунок його гігроскопічності. Тому краще орієнтуватися на повне забезпечення окремого регіону і при потребі буде можливість транспортувати ту кількість продукту в якій є стабільна потреба. При впровадженні даного виробництва і можливого економічного ефекту на інші галузі в перспективі є можливість розширення виробництва зі збільшенням його потужності. Оскільки сировина не є критичним ресурсом в даному випадку, при збільшенні виробничих потужностей не спостерігатиметься простою через нестачу сировини.

Згідно з наявності ресурсів на сьогоднішній день і можливості реалізації продукту, пропонується проект виробництва біоетанолу в обсязі 10 тис. т на рік. Така виробнича потужність дає можливість забезпечити потреби даного регіону країни і не виникне труднощів в реалізації продукту, оскільки в Україні немає широкомасштабного виробництва біоетанолу, то на даний продукт буде високий попит. Також дану виробничу потужність можна забезпечити сировиною вже на

|      |      |          |        |      |                     |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                     |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                     |  |  |  | 88   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БЕ71мп.065152.01.МД |  |  |  |      |



сьогоднішній день і є широкий вибір майданчиків для розміщення даного виробництва.

При безперервному режимі роботи підприємства, враховуючи 30 днів на зупинки, ремонти, очищення обладнання і т.д., проектна продуктивність праці підприємства:

$$ПП = M/T = 10\,000 \text{ т}/335 \text{ діб} = 29,85 \text{ т/добу, де}$$

ПП – проектна продуктивність праці підприємства, М – загальна запланована потужність підприємства на рік, Т – тривалість календарного року.

Для ферментерів об'ємом 200 м<sup>3</sup>, що використовуються на виробництві при обраному режимі роботи денна продуктивність складає 1243 м<sup>3</sup> культуральної рідини на добу. Вміст етанолу в ній складає 1,5 %, отже денна продуктивність обладнання по етиловому спирту складає 18,64 м<sup>3</sup>/добу. Густина біоетанолу складає 800 кг/м<sup>3</sup> і при перерахунку на масову продуктивність отримаємо значення 15 т на добу. Отже планова кількість одиниць обладнання складатиме:

$$n = ПП/Ot = ПП/ДП = 29,85 / 15 \approx 2,$$

де n – кількість одиниць обладнання, од; ПП – проектна продуктивність праці підприємства, т/рік; O – виробнича потужність обраної марки виробничого обладнання, т/год; t – проектна тривалість робочого дня підприємства, год (24 год); ДП – денна продуктивність одної одиниці обладнання, т/добу.

Отже, для забезпечення проектної продуктивності необхідно встановити дві паралельно працюючі установки для бродіння, що складаються з двох ферментерів об'ємом 200 м<sup>3</sup> кожна.

### 6.1.2 Розрахунок ефективного фонду робочого часу підприємства

Підприємство працюватиме в безперервному режимі протягом всього календарного року і ефективний фонд робочого часу  $T_{\text{еф}}$  становить 8760 год/рік.. Проте безпосередньо на випуск продукції виділено 335 днів на рік. Інші 30 днів протягом року виділені на забезпечення належних умов виробництва, тобто

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 89   |

проводиться очистка і технічний огляд обладнання, оновлення культури дріжджів, плановий та позаплановий ремонт обладнання.

Таблиця 6.2. Річний фонд робочого часу підприємства

| Показник  | Норма<br>робочого часу |
|---|------------------------|
| 1. Календарний фонд робочого часу підприємства, діб                   | 365                    |
| 2. Тривалість робочого дня підприємства, год                          | 24                     |
| 3. Календарний фонд робочого часу підприємства, год                   | 8760                   |
| 4. Час простою у планово-попереджувальних ремонтах протягом року, год | 720                    |
| 5. Річний фонд робочого часу підприємства, год                        | 8040                   |

### 6.1.3. Розрахунок та побудова графіка ремонтів обладнання

Система технічного обслуговування та ремонту обладнання (ТОРО) містить капітальні, середні та поточні ремонти, крім того, передбачає технологічний огляд та інші види міжремонтного обслуговування технологічного обладнання.

Виходячи з паспортних даних обраного типу обладнання та дійсних міжремонтних нормативів, розраховуємо час роботи обладнання між ремонтами, час простою, кількість ремонтів та складаємо графік ТОРО, що представлений у таблиці

В умовах безперервного виробництва номінальний річний фонд робочого часу роботи обладнання становить 8760 год/рік (або 8640 год/рік з урахуванням можливого простою обладнання з непередбачених причин, який у системі ТОРО складає 120 год/рік).

1. В умовах безперервного виробництва кількість капітальних ремонтів розраховується:

$$n_k = 8640 / a_k,$$

де  $a_k$  – час між двома капітальними ремонтами.

2. Кількість середніх ремонтів розраховується за формулою:

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 90   |

$$n_c = (8640 / a_c) - n_k$$

де  $a_c$  – час між двома середніми ремонтами.

3. Кількість поточних ремонтів розраховується за формулою:

$$n_{п} = (8640 / a_{п}) - n_k - n_c,$$

де  $a_{п}$  – час між двома поточними ремонтами.

4. Загальний час простою у ремонтах визначають за формулою:

$$T_{рем} = n_k \cdot t_k + n_c \cdot t_c + n_{п} \cdot t_{п},$$

де  $n_k, n_c, n_{п}$  – кількість відповідних ремонтів, од.;  $t_k, t_c, t_{п}$  – запланований час простою обладнання в ремонті, год/од.

5. Ефективний час роботи апаратів без простою обладнання визначається за формулою:

$$T_{эф} = T_{пр} - 120 - T_{рем}$$

Результати розрахунків для всього обладнання представлені в таблиці

Таблиця 6.3 Графік ремонтів технологічного обладнання на рік

| Обладнання                    | Вид ремонту, тривалість простою, год |     |    | Кількість ремонтів протягом місяця<br>За видами |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | Тривалість простою в ремонтах, год/рік | Ефективний фонд робочого часу<br>обладнання, год/рік |
|-------------------------------|--------------------------------------|-----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|--|--|
|                               | К                                    | С   | П  | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |  |  |
| Дозатори                      | 50                                   | 20  | 5  | П   | С | П | П | С | П | П | С | П | П  | К  | П  | 150                                    | 8490   |
| Насоси                        | 80                                   | 40  | 10 | П   | С | П | П | С | П | П | С | П | П  | К  | П  | 200                                    | 8440   |
| Реактори                      | 400                                  | 100 | 10 | П   | П | С | П | П | П | С | П | П | П  | К  | П  | 400                                    | 8240   |
| Гідроліз апарат               | 400                                  | 100 | 10 | П   | П | С | П | П | П | С | П | П | П  | К  | П  | 600                                    | 8040   |
| Випарні апарати               | 250                                  | 60  | 10 | С   | П | П | С | П | П | П | С | П | П  | К  | П  | 400                                    | 8240   |
| Відстійник                    | 100                                  | 50  | 5  | П   | П | П | С | П | П | П | С | П | П  | К  | П  | 200                                    | 8440   |
| Бродильна установка           | 400                                  | 100 | 10 | П   | П | С | П | П | П | С | П | П | П  | К  | П  | 600                                    | 8040   |
| Брагоректифікаційна установка | 400                                  | 100 | 10 | П   | П | С | П | П | П | С | П | П | П  | К  | П  | 600                                    | 8040   |

## 6.2. Розрахунок собівартості продукту і вартості проекту

### 6.2.1. Розрахунок капітальних витрат на будівництво нового підприємства

До капітальних витрат на будівництво нового підприємства входять:

- будівництво виробничого цеху;
- будівництво адміністративної будівлі;
- придбання обладнання, його монтаж та будівництво комунікацій;
- придбання транспорту.

Таблиця 6.4. Витрати на будівництво і амортизація

| Назва  | Кількість одиниць для обладнання | Вартість, грн | Термін експлуатації, років | Ліквідаційна вартість, грн | Амортизація грн. |
|--|----------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|------------------|
| Виробничий цех   |                                  | 7500000       | 20                         | 500000                     | 350000           |
| Адміністративна будівля                                |                                  | 2000000       | 20                         | 200000                     | 90000            |
| Транспорт  |                                  | 500000        | 10                         | 25000                      | 47500            |
| Обладнання   |                                  |               |                            |                            |                  |
| Дозатор  | 15                               | 150000        | 10                         | 20000                      | 13000            |
| Насос  | 15                               | 300000        | 10                         | 50000                      | 25000            |
| Конвеєр для подачі сировини                            | 1                                | 250000        | 20                         | 50000                      | 10000            |
| Подрібнювач сировини                                   | 1                                | 200000        | 10                         | 40000                      | 16000            |
| Вимірювальні прилади (термомтри, ротаметри і т.д.)     | 42                               | 42000         | 5                          | 5000                       | 7400             |
| Реактор об'ємом 63 м3                                  | 10                               | 20000000      | 20                         | 4000000                    | 800000           |
| Реактор об'ємом 50 м3                                  | 2                                | 3000000       | 20                         | 600000                     | 120000           |
| Реактор об'ємом 10 м3                                  | 1                                | 500000        | 20                         | 100000                     | 20000            |
| Реактор об'ємом 1 м3                                   | 1                                | 250000        | 20                         | 50000                      | 10000            |
| Бродильна установка(2 реактори об'ємом 200 м3)         | 2                                | 10000000      | 20                         | 2000000                    | 400000           |
| Випарна установка                                      | 2                                | 1000000       | 20                         | 200000                     | 40000            |
| Брагоректифікаційна установка з допоміжним обладнанням | 1                                | 10000000      | 20                         | 1500000                    | 425000           |
| Допоміжне обладнання (теплообмінники, фільтри і т.д.)  |                                  | 2500000       | 10                         | 500000                     | 200000           |
| Всього   |                                  | 48192000      |                            | Всього                     | 2086400          |

Інвентар цеху і офісне обладнання оцінюється в 200000 грн. З терміном експлуатації 5 років і ліквідаційною вартістю 10000 грн амортизація складає 38000 грн. Вартість нематеріальних активів складає 100000 грн з амортизацією 10000 грн.

Загальна вартість основних фондів:

$$OF = 7500000 + 2000000 + 500000 + 48192000 + 200000 + 100000 = 58492000$$

грн.

Амортизація основних фондів складає:

$$A = 350000 + 90000 + 47500 + 2086400 + 38000 + 10000 = 2621900 \text{ грн.}$$

### 6.2.2. Розрахунок витрат на сировину, матеріали і електроенергію.

Використовуючи впроваджену на підприємстві технологію на виробництво 10 л біоетанолу витрачається:

- 55-65 кг целюлозовмісної сировини;
  - 4,5 кг реактиву Фентона;
  - 4,3 кг ДМСО;
  - 3,6 м<sup>3</sup> води;
- 4,18 кВт·год електроенергії

Враховуючи річну продуктивність 10000 т на рік, що еквівалентно 12658000 л біоетанолу на рік, річні витрати на сировину, матеріали і електроенергію наведені в таблиці.

Таблиця 6.5. Витрати на сировину та матеріали

| Сировина та матеріали | Витрати на рік           | Ціна за од            | Сумма, грн. |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------|
| Відходи деревини      | 69 619 т                 | 50 грн/т              | 3 480 950   |
| Реактив Фентона       | 5 696,1 т                | 4 грн/кг              | 22 784 400  |
| ДМСО                  | 5 442,9 т                | 1,6 грн/кг            | 8 708 640   |
| Технологічна вода     | 4 556 880 м <sup>3</sup> | 20 грн/м <sup>3</sup> | 91 137 600  |
| Електроенергія        | 5 291 044 кВт·год        | 3 грн/кВт·год         | 15 873 132  |
| Всього                |                          |                       | 141 984 722 |

Також додаються витрати на мінеральні солі, що є потрібними компонентами поживного середовища, ферментного препарату та витрати на придбання промислового штаму дріжджів. В сумі ці витрати на рік складають 20 млн грн.. Отже, загальні витрати на сировини, матеріалів і електроенергії складають 161 984 722 грн на рік.

### 6.2.3. Розрахунок заробітної плати та експлуатаційних витрат.

Підприємство працює 24 год на добу і 7 днів на тиждень впродовж всього року. Передбачено 30 днів в рік планових зупинок, зупинок на ремонт та ін. Для офісних працівників, водіїв, вантажників режим роботи: 5 днів на тиждень, робочий день 8 год, вихідні дні – субота, неділя.

Виробничий персонал складається з 4 бригад, що працюють у 3 зміни по 8 год кожна. На підприємстві максимально використані засоби автоматизації виробництва і 1 бригада складається з 15 осіб. Отже, явочна кількість виробничого персоналу на кожній зміні складає 15 осіб.

Явочна кількість персоналу, що працює в 1 зміну(керівників, офісних працівників, водіїв, вантажників, прибиральників і т.д.) складає 30.

Чисельність персоналу за списком складає 75 осіб.

Таблиця 6.6. Графік змінності підприємства

|                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
|                 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Бр.1            | 1 | 1 | 1 | 1 | В | 2 | 2 | 2 | 2 | В  | 3  | 3  | 3  | 3  | В  | В  |
| Бр.2            | В | 2 | 2 | 2 | 2 | В | 3 | 3 | 3 | 3  | В  | В  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| Бр.3            | 2 | В | 3 | 3 | 3 | 3 | В | В | 1 | 1  | 1  | 1  | В  | 2  | 2  | 2  |
| Бр.4            | 3 | 3 | В | В | 1 | 1 | 1 | 1 | В | 2  | 2  | 2  | 2  | В  | 3  | 3  |
| Офісні<br>прац. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | В | В | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | В  | В  | 1  | 1  |

Розрахуємо заробітну плату:

Таблиця 6.7. Розрахунок заробітної платні

| Посада                                      | Кількість | Місячна з/п на 1 працівника, грн | Всього, грн |
|---|-----------|----------------------------------|-------------|
| Виробничий персонал                         | 42        | 4000                             | 168000      |
| Начальник зміни                             | 3         | 6000                             | 18000       |
| Офісні працівники, водії, вантажники і т.д. | 25        | 4500                             | 112500      |
| Керівники                                   | 5         | 10000                            | 50000       |
| Всього                                      |           |                                  | 348500      |

Заробітна плата всім працівникам за рік складе 4182000 грн. Нарахування на заробітну плату складають 1672800 грн.

Експлуатаційні витрати становлять 5 000 000 грн на рік і складаються з:

- витрати на заробітну плату персоналу, що проводить ремонт будівель чи обладнання;

- витрати на допоміжні матеріали, електроенергію, воду, що необхідні для ремонту;

- закупівлю нового інвентаря чи інструментів, що швидко зношуються;

- витрати на ремонт транспортних засобів;

- витрати на утримання цехової і адміністративної будівлі;

- витрати на утримання території.

Загальна вартість оборотних фондів:

Обз = 161 984 722 + 4182000 + 920040 + 5000000 = 167 086 762 грн/рік.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 95   |

### 6.2.4. Розрахунок собівартості продукції

Таблиця 6.8. Розрахунок собівартості продукції

| Стаття калькуляції                               | Витрати на річну програму грн./рік | Витрати на 1 т продукції грн./1т |
|--|------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Сировина, матеріали, електроенергія та ремонт | 166 984 722                        | 16698,47                         |
| 2. Амортизація                                   | 2 621 900                          | 262,2                            |
| 3. Заробітна плата                               | 4 182 000                          | 418,2                            |
| 4. Нарахування на з/п                            | 920 040                            | 92,04                            |
| 5. Собівартість                                  | 174 708 662                        | 17470,87                         |

### 6.3. Аналіз техніко-економічних показників

Таблиця 6.9. Техніко-економічні показники підприємства

| Показник  | Значення показників підприємства      |                         |
|---|---------------------------------------|-------------------------|
|   | базового                              | Проектного              |
| 1. Річний випуск продукції, од/рік  | $V_6$                                 | 10 000 т                |
| 2. Чисельність персоналу за списком, осіб.<br>У тому числі:<br>виробничий персонал;<br>адміністративний персонал; | $Ч_{сп6}$<br>$Ч_{спр6}$<br>$Ч_{спа6}$ | 75<br>45<br>30          |
| 3. Середньорічний виробіток робітника, од/особу   | $V_6/Ч_{спр6}$                        | 222,2                   |
| 4. Капіталовкладення у проект, грн.:<br>всього, грн.<br>на одиницю продукції, грн./од.                            | $K$                                   | 200 000 000<br>20 000   |
| 5. Загальна собівартість продукту:<br>всього, грн.<br>на одиницю продукції, грн./од.                              | $C_z$<br>$C$                          | 174 708 662<br>17470,87 |
| 6. Ринкова вартість продукту, грн./од.  | 21 000                                |                         |
| 7. Відносний прибуток на одиницю продукції, грн./од.  | $\Pi = Ц - C$                         | 3529,13                 |
| 8. Рентабельність продукту, %   | $P = \Pi/C$                           | 0,2                     |
| 9. Термін повернення капіталовкладень, років  | $T_{пов} = K/\Pi$                     | 5,67                    |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

БЕ71мн.065152.01.МД

Арк.

96



|   |                             |                         |
|---|-----------------------------|-------------------------|
| 10. Вартість виробничих фондів, грн.<br>У тому числі:<br>основних;<br>оборотних | ОФ<br>Обз                   | 58492000<br>167 086 762 |
| 11. Фондовіддача виробничих фондів,<br>грн./грн.                                | $\Phi B = B * \Pi / O \Phi$ | 3,59                    |
| 12. Фондомісткість, грн./грн.   | $\Phi C = 1 / \Phi B$       | 0,28                    |
| 13. Коефіцієнт економічної<br>ефективності                                      | $E = 1 / T_{\text{пов}}$    | 0,18                    |

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мн.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 97   |

#### 6.4. Очікуваний ефект від впровадження проектних пропозицій

При впровадженні даної проектної пропозиції очікується:

- задоволення потреби споживачів у біопаливі в даному регіоні, зі збільшенням сфери збуту з часом при задовільному попиті на біоетанол. При цьому зросте економічна ефективність підприємства і зростуть доходи.

- зменшення енергозалежності країни за рахунок збільшення інтересу до біопалив і розвитку даної галузі в Україні, з подальшим забезпеченням України власними енергоресурсами;

- зменшення утворення відходів в у деревообробній і меблевій галузях, що матиме позитивний екологічний ефект;

- в подальшому налагодити виробництво побічних продуктів, якими можуть бути фурфурол, вуглекислота і дріжджі, що збільшить рентабельність підприємства.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 98   |

## 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Як видно з технологічної частини проекту, на об'єкті по отриманню біоетанолу з целюлозовмісних відходів кукурудзи знаходяться в обігу небезпечні речовини і матеріали. На виробництві використовуються електрична, теплова, механічна енергія, енергія стисненого повітря. Внутрішньоцеховий транспорт представлено шнековим конвеєром.

Проект виконано з урахуванням вимог охорони праці, пожежної та екологічної безпеки виробництва. На основі виявленого аналізу шкідливих і небезпечних факторів (ШНВФ) проектом передбачено заходи і засоби щодо забезпечення здорових безпечних умов праці та пожежної безпеки [32].

### 7.1. Виявлення та аналіз шкідливих та небезпечних факторів. Заходи з охорони праці

#### 7.1.1. Повітря робочої зони

Роботи, що виконуються на дільниці, згідно з ДСН 3.3.6.042-99, можна віднести до фізичних робіт середньої важкості категорії Па. В таблиці 5.1 наведені санітарні норми параметрів мікроклімату для названих приміщень [33].

Таблиця 7.1

Оптимальний мікроклімат у приміщеннях [33]

| Параметр  | Категорія робіт | У побутових приміщеннях | У виробничих приміщеннях |
|---|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| Температура (холодний/теплий періоди), °С           | Па              | 19 - 21/21 - 23         | 16-25                    |
| Вологість, %  |                 | 60-40                   | 30-60                    |
| Швидкість руху повітря, м/с холодний/теплий періоди |                 | 0,2 / 0,3               | 0,2-0,5                  |

|          |      |                |        |      |   |  |  |                                   |         |
|----------|------|----------------|--------|------|---|--|--|-----------------------------------|---------|
|          |      |                |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i>                        |  |  |                                   |         |
| Змн.     | Лист | № докум.       | Підпис | Дата | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях |  |  |                                   |         |
| Розроб.  |      | Балацький А.Е. |        |      |   |  |  | Арк.                              | Аркушів |
| Конс.    |      | Щурська К.О.   |        |      |   |  |  | 99                                |         |
| Керівник |      | Щурська К.О.   |        |      |   |  |  | КПІ ім. І.Сікорського<br>ФБТ, КЕБ |         |

Допустима температура зовнішніх поверхонь обладнання становить:

$$t_n = t_0 + 2 \text{ }^\circ\text{C},$$

де  $t_0$  – оптимальна температура повітря робочої зони в теплий період року,  $t_0 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Тоді

$$t_n = 27 + 2 = 29 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температуру повітря вимірюють термометрами з ціною поділки  $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Заходами санітарних норм мікроклімату і належної чистоти повітря згідно вимог ДСН 3.3.6.042-99 забезпечено вдосконалення технологічних процесів та їх апаратурного оформлення шляхом розміщення деяких апаратів поза приміщеннями, використання теплозахисної ізоляції апаратів та трубопроводів, які є джерелом виділення теплової енергії. В холодну пору року передбачена система центрального водяного опалення низького тиску виробничих приміщень.

Вибір схеми виробництва проводився з урахуванням зниження тепловиділення і зведення до мінімуму надходження шкідливих речовин у повітря робочі зони.

Для запобігання забруднення повітря виробничих приміщень проектом передбачено забезпечення герметичності ємностей, обладнання, комунікацій та засобів відбирання проб Як засіб видалення вологи із повітря приміщення використовується вентиляція.

В додатку Б наведена коротка санітарна характеристика цеху, що проектується [34].

За способом організації технологічних заходів для нормалізації повітрообміну передбачена загально обмінна вентиляція. Також на виробництві передбачено аварійна вентиляція, яка вмикається автоматично при досягненні гранично концентрації небезпечних речовин. Для усунення небезпеки, яка виникає при підвищеній температурі поверхонь обладнання проектом передбачено захисну теплоізоляцію, для поверхонь обладнання, такі, як корпуса апаратів, захисні сорочки [35].

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                            | 100  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            |      |

### 7.1.2. Виробниче освітлення

Згідно з ДБН В.2.5.28-06, розряд робіт за зоровими умовами відноситься до VIIIа (загальне постійне спостереження за ходом виробничого процесу) [36].

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. Для аварійного освітлення проектом передбачаються лампи розжарювання Г 220-200 та люмінесцентні лампи ЛХБ 80.

За ДБН В.2.5-28-06 з урахуванням галузевих норм у таблиці 7.3 вказані норми освітлення приміщень робочим освітленням.

Таблиця 7.3

Санітарні норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному і суміщеному освітленні

| Характеристика зорової роботи                       | Розряд роботи | Штучне освітлення, лк |          | КПО, %          |                          |
|---|---------------|-----------------------|----------|-----------------|--------------------------|
|   |               | комбіноване           | загальне | Природне, бічне | Суміщене, верхнє і бічне |
| Загальне спостереження за ходом виробничого процесу | VIIIа         | -                     | 200      | 1,8             | 0,6                      |

### 7.1.3. Захист від виробничого шуму та вібрацій

Джерелами шуму та вібрації при виробництві біоетанолу є насоси, вентилятори, газодувки, мішалки, вентиляційні системи.

Згідно ДСН 3.3.6.037-99, санітарні норми параметрів шуму в приміщеннях і на території підприємства становлять 80 дБА [37]. Гранично допустимі рівні локальної непостійної переривчатої вібрації встановлені у ДСН 3.3.6.039-99 [38]. Для забезпечення допустимого рівня шуму та вібрації проектом передбачено наступні дії:

- витяжні системи обладнати глушниками шуму;
- віброізоляція насосних агрегатів;
- вентилятори закріпити на віброізолюючих пружинах, всмоктуючі та напірні патрубки вентиляторів з'єднати з вентиляторними трубами м'якими вставками;

Для вимірювання і аналізу шуму і вібрації передбачені шумоміри ВШВ - 003 і частотні аналізатори.

### 7.1.4. Електробезпека

Згідно з проектом, електрообладнання виробничого цеху живиться від трьохфазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму частотою 50 Гц, напругою 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю.

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.

Відповідно до ПУЕ, приміщення виробничого цеху за безпекою електротравм належить до категорії з підвищеною безпекою.

Норми  $U_d$ ,  $I_d$  згідно ГОСТ 12.1.038-82 при аварійному режимі:

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 102  |

$$U_d < 36 \text{ В},$$

$$I_d < 6 \text{ мА при дії довше } 1 \text{ с},$$

де  $U_d$ —напруга дотику, В;  $I_d$ — струм, який проходить через людину, мА.

При однофазному доторканні струм, який проходить через людину, буде дорівнювати:

$$I_d = \frac{U_\phi \cdot 10^3}{R_d + R_0},$$

де  $U_\phi = 220 \text{ В}$  – фазна напруга;  $R_d = 2 \text{ кОм}$  – опір людини; ,  $R_0 = 4 \text{ Ом}$  – опір заземлення нейтралі. Тоді

$$I_d = \frac{220 \cdot 10^3}{2000 + 4} = 109,7 \text{ мА},$$

$$U_\phi = 2000 \cdot 109,7 = 214 \text{ В}$$

Як видно з порівняння розрахункових та допустимих величин, при порушенні вимог ПУЕ в цеху можливі електротравми з тяжкими наслідками [39].

Статична електрика виникає при терті газоподібних речовин при випусканні повітря чи газів з ресиверів.

Проектом передбачено такі основні засоби захисту від статичної електрики, як відведення зарядів у землю за допомогою заземлення трубопроводів, запобігання виникненню та накопиченню статичної електрики та її нейтралізації.

Все устаткування та комунікації захищено від статичної електрики згідно з ГОСТ 12.4.124 та НПАОП 0.00-1.29-97. Для зменшення заряду статичної електрики передбачено підвищення вологості повітря до 70%, напилення на діелектричній поверхні електропровідних плівок [40].

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:

- занулення;

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 103  |

- електроізоляція;
- малі напруги ( $\leq 42$  В);
- подвійна ізоляція.

До основних та додаткових засобів індивідуального захисту на підприємстві відносяться:

- ізолювальні кліщі;
- діелектричні рукавички;
- діелектричне взуття [41].

### **7.1.5. Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання**

Проектом передбачена комплексна механізація, автоматизація та дистанційне управління технологічними процесами задля забезпечення безпеки технологічних процесів та обслуговування апаратів, передбачено усунення безпосереднього контакту працюючих з шкідливими речовинами та герметизація обладнання.

Причинами виникнення аварії в цеху можуть бути потрапляння сторонніх продуктів в апарати, зміна складу компонентів, які подаються в вигляді суміші або розчину, зміна витрат холодоагента чи теплоагента, які подаються відповідно для охолодження чи нагріву. Для попередження виникнення аварійних ситуацій передбачено створення автоматичних систем захисту.

Виробничий процес виробництва біоетанолу здійснюється у відповідності з вимогами чинної нормативно-технічної документації, затвердженої у встановленому порядку.

Тиск в трубопроводах, температурний режим і рівень рідини в ректифікаційних колонах, швидкість подачі рідини підтримується у відповідності з вимогами технологічного регламенту.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 104  |



Проектом передбачено неможливість виконання робіт на несправному обладнанні, при несправності контрольно-вимірювальних приладів, захисних огорожень, блокувань пристроїв, електроустаткування, пускової апаратури, кнопок і важелів керування автоматичного блокування роботи обладнання.

Вимоги безпеки, що стосуються будови, виготовлення та експлуатації посудин, що працюють під тиском, відповідають представленим вимогам у НПАОП 0.00-1.07-94. Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском (зі змінами та доповненнями). Ректифікаційні колони обладнані люками, доступними для обслуговування апарату. Зварні шви виконуються тільки стиковими. Контроль якості зварних швів виконується за допомогою зовнішнього огляду та гідравлічно. Проектом передбачено встановлення ректифікаційних колон на відкритих майданчиках [42].

Вимоги до роботи з компресорним обладнанням відповідають ГОСТ 12.2.016-81, за яким безпечність такого обладнання забезпечується використанням змащувальних матеріалів при роботі з компресорами та їх охолодженням, що передбачено проектом. Всі трубопроводи прокладені згідно з СНиП 1П-Г.9-62 надземно на рухомих опорах. Трубопроводи, що транспортують біоетанол, обладнані дренажними системами для відведення конденсату.

Будова та безпечна експлуатація трубопроводів пари та гарячої води відповідає вимогам НПАОП 40.3-1.11-98. В результаті виникаючих теплових навантажень у трубопроводах можливі розриви (при охолодженні) або випинання (при нагріванні) і відрив фланців. Тому на трубопроводах передбачено встановлення компенсуючих елементів. Відповідно до ГОСТ 14202-69 передбачено фарбування трубопроводу для подачі гарячої води зеленим кольором, біоетанолу – жовтим, розчину ДМСО – фіолетовим [43].

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 105  |

## 7.2. 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 ГОСТ 12.1.030, ГОСТ 12.1.018 та НПАОП 40.1-1.32-01 штучне освітлення, електрокомунікації, електричне обладнання та електричне устаткування. Для пожежогасіння передбачено застосовувати розпилену воду, піну, вогнегасні порошки класів В та АВС; під час об'ємного гасіння – вуглекислий газ, вогнегасні порошки класів В та АВС, а також аерозольні вогнегасні речовини.

Проектом передбачено наступні будівельні заходи пожежної безпеки: ступінь вогнестійкості будівлі – І, два запасних виходи з шириною дверних прорізів 0,6 м, легкоскридні конструкції, а саме одинарне застосування вікон.

Виробничий цех передбачено обладнати автоматичними дренчерними установками загального та локального пожежогасіння та пожежної сигналізації згідно з НАПБ Б.06.004.

Устаткування та комунікації передбачено захистити від статичної електрики згідно з ГОСТ 12.4.124 та НПАОП 0.00-1.29-97. Для відведення заряду з рідкого продукту на завантажувальному трубопроводі безпосередньо біля входу в апарат, що заповнюється, передбачено обладнати індукційним нейтралізатором зі струнами.

Споруди і будівлі, що віднесені за СН 305-77 до II категорії по влаштуванню блискавкозахисту, проектом передбачено захистити від блискавки шляхом встановлення подвійного стрижневого громовідводу.

В додатку В приведена характеристика пожежо- і вибухонебезпечних речовин, які використовуються при виробництві біоетанолу [44].

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 106  |

## 8. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

В процесі виробництва біоетанолу утворюється ряд побічних продуктів, що можуть спричинити шкоду навколишньому середовищу. До них відносяться вуглекислий газ, сивушні масла, метанол, фурфурол, лігнін та ін.

Вуглекислий газ при потраплянні в атмосферу негативно впливає на навколишнє середовище сприяючи збільшенню парникового ефекту. Для запобігання його виходу в атмосферу вуглекислий газ, що утворюється в процесі виробництва біоетанолу пропонується вловлювати в циклонах і переробляти на вуглекислоту, яка буде побічним продуктом виробництва.

В процесі випарювання гідролізату утворюється фурфурол, що є токсичною сполукою. Для запобігання його виходу в атмосферу, фурфурол конденсують і очищають. Фурфурол має застосування в хімічній промисловості, тому він матиме економічну користь як побічний продукт.

В процесі фільтрації в апараті залишається фракція лігніну, яка не використовується на виробництві. Скидання лігніну як відходів спричинятиме забруднення навколишнього середовища, оскільки він не розкладається. Проте він є цінною хімічною сполукою, тому його виділяють і використовують як сировину у хімічній промисловості.

В процесі ректифікації утворюється багато побічних продуктів. З бражної колони після ректифікації виходить барда, що не містить спирту. При її скиді у водойму або каналізацію, вона може спричинити мікробіологічне забруднення, оскільки вона містить пентозами, що можуть бути поживними речовинами для мікроорганізмів. Тому барду потрібно або очищати на промислових очисних спорудах або використовувати для отримання кормових дріжджів.

|                 |      |                       |        |      |                            |   |      |         |
|-----------------|------|-----------------------|--------|------|----------------------------|---|------|---------|
|                 |      |                       |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> |   |      |         |
| Змн.            | Лист | № докум.              | Підпис | Дата | <i>Охорона довкілля</i>    |   | Арк. | Аркушів |
| <i>Розроб.</i>  |      | <i>Балацький А.Є.</i> |        |      |                            |   |      |         |
| <i>Конс.</i>    |      | <i>Щурська К.О.</i>   |        |      |                            |   | 107  |         |
| <i>Керівник</i> |      | <i>Щурська К.О.</i>   |        |      |                            | <i>КПІ ім. І.Сікорського<br/>ФБТ, КЕБ</i> |      |         |

В процесі роботи ректифікаційних колон утворюється лютерна вода, що може бути очищена на очисних спорудах і повторно використовуватись в якості технологічної води. Також утворюються сивушні масла і метанол. При відсутності методів їх виділення, їх скидають разом з стічними водами в водойму або каналізацію. Метанол, як і сивушна фракція, є отруйною сполукою, при високій його концентрації в стоках він негативно впливатиме на роботу споруд біологічного очищення. Тому потрібно попереднє розбавлення стічної води і подальша її очистка.

Організаційні заходи зводяться до попередження скидання стічних вод у водойми без їхнього очищення. Технічні заходи передбачають очищення стічних вод різними методами, повторне використання стічних вод для технічних потреб та поливу, створення оборотних та замкнених систем водокористування, вдосконалення технологічних процесів на підприємствах у напрямку зменшення надходження забруднень у стоки, перехід на безвідходні технології та ін.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 108  |

## ВИСНОВКИ

В дисертації розроблено технологію виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини – кукурудзяних стрижнів, яка базується на типовій гідролізній технології. Запропоновано новітнє рішення щодо використання стадії попередньої обробки сировини перед гідролізом – розчинення в органічному розчиннику та реактиві Фентона.

Основною сировиною для виробництва біоетанолу обрано відходи кукурудзи з високим вмістом целюлози – близько 40%. Використання даної сировини для отримання біоетанолу є перспективним.

Розглянуто схему перебігу біологічних процесів, що протікають при синтезі біоетанолу. Основним шляхом синтезу є спиртове бродіння, що здійснюється дріжджами родів *Shizosaccharomyces* і *Saccharomyces*, і протікає в декілька стадій. В процесі перетворення простих вуглеводів цим шляхом основним продуктом метаболізму є етанол. Окрім етанолу утворюються вуглекислий газ, метанол і сивушні масла. Вихід біоетанолу при зброджуванні гідролізату целюлози дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* становить 130 – 160 л на 1 т абсолютно сухої сировини.

Обрано технологічну схему, що включає обробку подрібненої сировини реактивом Фентона в суміші розчинників (вода та диметилсульфоксид), ферментативний гідроліз залишкової целюлози та олігомерів глюкози ферментним препаратом, отриманим з *Trichoderma reesei*, з наступним зброджуванням попередньо упареного гідролізату з використанням культури дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та виділенням біоетанолу на брагоректифікаційній установці.

Також розроблена апаратурна схема виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини та розроблені засоби з автоматизації виробництва.

Проведено розрахунок і підбір основного та допоміжного обладнання, складено матеріальний баланс виробництва. Розраховано основні технологічні

|      |      |          |        |      |                     |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|      |      |          |        |      | БЕ71мп.065152.01.МД | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 109  |

та конструктивні параметри ферментеру для зброджування моноцукрів. На основі розрахунків обрано реактор без механічних перемішуючих пристроїв з секційною сорочкою та внутрішнім теплообмінником,  $V = 100 \text{ м}^3$ , коефіцієнт заповнення 0,7.

Проведений розрахунок економічної ефективності виробництва та розраховано собівартість продукції, що складає 17470,87 грн за тону біоетанолу. Наведені заходи з охорони праці на виробництві та надано інформацію щодо захисту навколишнього середовища при виробництві біоетанолу.

Виконано креслення технологічної і апаратурної схеми виробництва, автоматизації стадії зброджування та креслення ферментеру на аркушах формату А1.

Біоетанол, що отримують за використання даної технології, відповідає всім показникам зазначеним в Євростандарті EN 15376 і може використовуватися як компонент бензиново-етанольної суміші.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 110  |

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дейнеко, Л.В. Проблеми виробництва та використання біопалива в Україні / Л.В. Дейнеко, О.Г. Загный // Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка. — 2006. — 85, № 1. — С. 49 – 54.
2. Шевченко О. Б. Застосування етанолу як компонента моторного палива // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – № 6. – С. 132 – 137.
3. 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. – Випуск 20.5. – С. 94 – 100.
4. Sun Y, Cheng J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technol.* 2002;83:1–11.
5. Horisawa, S., Nishida, T., 2014. Ethanol production from lignocellulosic material by white rot fungi. *J. Advances Clean Energy* 1(1), 71-76.
6. Zhang K, Pei Z, Wang D. Organic solvent pretreatment of lignocellulosic biomass for biofuels and biochemicals: a review. *Bioresour Technol.* 2016;199:21–33.
7. Wiggers HJ, Cheleski J, Zottis A, Oliva G, Andricopulo AD, Montanari CA. Effects of organic solvents on the enzyme activity of *Trypanosoma cruzi* glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase in calorimetric assays. *Anal Biochem.* 2007;370:107–14.
8. Yu, Hui-Tse et al. “Efficient pretreatment of lignocellulosic biomass with high recovery of solid lignin and fermentable sugars using Fenton reaction in a mixed solvent” *Biotechnology for biofuels* vol. 11 287.
9. Холькин Ю. И. Технология гидролизных производств. Учебник для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 496 с.
10. Гельфанд Е. Д. Основы технологии биоэтанола: учеб. пособие. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. Ун-та, 2005. – 56 с.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 111  |

11. Технология гидролизных производств. В. И. Шарков, С. А. Сапотницкий, Дмитриева О. А., Туманов И. Ф. «Лесная промышленность», 1973. – 408 с.

12. Халаим А. Ф. Технология спирта. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 192 с.

13. Цыганков П. С., Цыганков С. П. Виділення спирту із бражки та його очистка. – К.: Глобус, 2000. – 120 с.

15. Цыганков П. С., Цыганков С. П. Руководство по ректификации спирта. – М.: Пищепромиздат, 2001. – 400 с.

16. Стабников В. Н. Перегонка и ректификация этилового спирта. – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 459 с.

17. Технологія спирту. В. О. Маринченко, В. А. Домарецький, П. Л. Шиян та ін. / Під ред. Проф. В. О. Маринченка. – Вінниця: «Поділля-2000», 2003. – 496 с.

14. Маринченко В.О. Технологія спирту / В.А. Домарецький, П.Л. Шиян, В.М. Швець, П.С. Цыганков, І.Д. Жолнер. – Вінниця: «Поділля-2000», 2003. – 496с. ISBN 5-86248-114-1.

18. Lynd LR, Laser MS, Brandsby D, Dale BE, Davison B, Hamilton R, Himmel M, Keller M, McMillan JD, Sheehan J, et al. How biotech can transform biofuels. Nat Biotechnol 2008, 26:169 – 172.

19. Оболенская А.В. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: Учебное пособие для ВУЗов / Ельницкая З.П., Леонович А.А. – М.: «Экология», 1991. – 320с.

20. Джатдоева М.Р. Теоретические основы прогрессивных технологий. Химический раздел. – Ессентуки: ЕГИЭиМ, 1998. – 78 с.

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

22. Роговин З.А. Химия целлюлозы. – М.: Химия, 1972. – 520 с.

|      |      |          |        |      |                     |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|      |      |          |        |      | БЕ71мп.065152.01.МД | Арк. |
|      |      |          |        |      |                     | 112  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |



23. *Булгаков Н.И.* Биохимия солода и пива. – М.: Пищевая пром-сть, 1976. – 358с.
24. *Грин Дж.Р.* Растворимые ферменты и брожение. – М.: Химическая пром-сть, 1905. – 469с.
25. *Пастер Л.* Исследования о брожениях. – М.: Сельхозгиз, 1937. – 488с.
26. *Моргунова Е.М.* Общая технология отрасли: конспект лекций / Н.А. Шелегова. – Могилев: УО МГУП, 2009. – 100с.
27. *Чурикова В.В.* Метаболизм микроорганизмов: учебное пособие / М.А. Климова. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2007. – 45с.
28. *Шевченко І. Л.* Аспекти використання біоетанолу як альтернативного джерела енергії // Цукрові буряки. – 2009. – №3. – С. 14 – 15.
29. *Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова.* – Санкт-Петербург.: Политехника, 1992. – 325 с.
30. *Методичні вказівки для студентів спеціальності «автоматизація і комплексна механізація хіміко-технологічних процесів»/ уклад.: І.З. Іваско, А.І. Кученко.-К.: КПИ, 1987.- 84с.*
31. *Методичні вказівки до виконання організаційно-економічних частини дипломних проектів для студ. хіміко-технологічних спец. Усіх форм навчання/ уклад.:О.А. Підлісна, В.В. Янковий, М.П. Дорошенко.* – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2002. – 28с.
32. *Орленко А.Т.* Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в дипломних проектах і роботах для студентів ф-ту біотехнології та біотехніки / А.Т. Орленко, Н.А. Праховнік, Ю.О. Полукаров. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 33с.
33. ДСН 3.3.6042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
34. *Вредные вещества в промышленности. Справочник химиков, инженеров и врачей.* В Зт.-Л.: Химия, 1976 г. – Т.1. – 592с.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 113  |

35. СНиП II-33-75. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

36. ДБН В.2.5.28-06. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. Київ, 2006. – 76с.

37. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

38. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації

39. ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность. Предельно допустимое значения напряжений прикосновения и токов.

40. ГОСТ 12.4.124. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты от статического электричества. Общитехническое требование.

41. *Сабарно Р.В., Степанов А.Г.* Электробезопасность на промышленных предприятиях. – М.: Медицина, 1988. – 336с.

42. *Калунянц К.А.* Оборудование микробиологических производств / К.А. Калунянц, Л.И.Голгер, В.Е. Балашов– М.: Агропромиздат, 1987. – 397с.

43. ГОСТ 14202-69. Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, опознавательные знаки и маркировочные щитки.

44. *Рябов И.В.* Пожарная опасность веществ и материалов, применяемых в химической промышленности: Справочник. – М.: Химия. – 1970. – 336с.

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 114  |

## ДОДАТОК А

## Специфікація обладнання

| Позиція  | Позначення,<br>марка | Найменування, технічна<br>характеристика обладнання  | Кіль<br>кість | Маса,<br>кг | Примітка                      |
|----------|----------------------|--|---------------|-------------|-------------------------------|
| Д-1      | ДК-40                | Об'ємно-ваговий дозатор для реактива Фентона   | 1             |             | Збірний                       |
| Д-2, Д-6 |                      | Об'ємно-ваговий дозатор для питної води  | 2             |             | Збірний                       |
| Р-3      | ВЕЕ                  | Реактор для приготування розчину реактиву Фентона, місткість 63 м <sup>3</sup> , коефіцієнт заповнення 0,7, нижній злив, механічне перемішування турбінною мішалкою, працює при атмосферному тиску, обладнаний секційною сорочкою, потужність електродвигуна з редуктором 20 кВт, частота обертання вала мішалки 1,33с <sup>-1</sup><br>Транспортування розчину насосом. | 1             |             | Неірж. сталь<br>12Х18Н1<br>0Т |
| КП-3.1   | ТСМ                  | Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.   | 1             |             | Збірний                       |
| КП-3.2   | ТСМ                  | Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.   | 1             |             | Збірний                       |
| КП-3.3   | АОН-1                | Ареометр для визначення концентрації сірчаної кислоти. Ціна поділки 0,1 %.   | 1             |             | Збірний                       |
| Н-4      | СМ                   | Насос для транспортування розчину Фентона, відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу  | 1             |             | Збірний                       |
| Д-5      |                      | Об'ємно-ваговий дозатор для мінеральних кислот і солей   | 1             |             | Збірний                       |

|      |      |          |        |      |                     |  |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|--|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                     |  |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                     |  |  |  |  |  | 115  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БЕ71мп.065152.01.МД |  |  |  |  |  |      |

|        |       |  |   |  |                               |
|--------|-------|--|---|--|-------------------------------|
| Р-7    | ВЕЕ   | Реактор для приготування розчину мінеральних солей і кислот, місткість 63 м <sup>3</sup> , коефіцієнт заповнення 0,7, нижній злив, механічне перемішування турбінною мішалкою, працює при атмосферному тиску, потужність електродвигуна з редуктором 20 кВт, частота обертання вала мішалки 1,33 с <sup>-1</sup><br>Транспортування розчину мінеральних речовин насосом. | 1 |  | Неірж. сталь<br>12Х18Н1<br>0Т |
| КП-7.1 | АОН-1 | Ареометр для визначення концентрації мінеральних речовин. Ціна поділки 1 кг/м <sup>3</sup> .   | 1 |  | Збірний                       |
| Н-8    |       | Насос для транспортування розчину мінеральних компонентів поживного середовища відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.   | 1 |  | Збірний                       |
| Д-9    |       | Об'ємно-ваговий дозатор для мінеральних компонентів поживного середовища   | 1 |  | Збірний                       |
| Д-10   |       | Об'ємно-ваговий дозатор для поживного середовища   | 1 |  | Збірний                       |
| Р-11   | ВЕЕ   | Реактор для приготування поживного середовища для вирощування чистої культури, місткість 63 м <sup>3</sup> , коефіцієнт заповнення 0,7, нижній злив, механічне перемішування турбінною мішалкою, працює при атмосферному тиску, обладнаний секційною сорочкою, потужність електродвигуна з редуктором 20 кВт, частота обертання вала                                     | 1 |  | Неірж. сталь<br>12Х18Н1<br>0Т |

|      |      |          |        |      |                            |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 116  |

|            |         |  |   |  |                         |
|------------|---------|--|---|--|-------------------------|
|            |         | мішалки 1,33 с <sup>-1</sup> .<br>Транспортування розчину поживного середовища насосом.  |   |  |                         |
| КП-11.1    | ТСМ     | Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.   | 1 |  | Збірний                 |
| КП-11.2    | ТСМ     | Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.   | 1 |  | Збірний                 |
| КП-11.3    | pH-101П | Датчик рН з вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання рН – 0 – 14. Похибка вимірювання рН ± 0,01.   | 1 |  | Збірний                 |
| Н-12, Н-16 |         | Насос для транспортування розчину поживного середовища відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.   | 2 |  | Збірний                 |
| Д-13, Д-18 |         | Об'ємно-ваговий дозатор для поживного середовища   | 2 |  | Збірний                 |
| Д-14       |         | Об'ємно-ваговий дозатор для чистої культури дріжджів   | 1 |  | Збірний                 |
| Р-15       | ВЕЕ     | Посівний ферментер об'ємом 1 м <sup>3</sup> з нижнім зливом. З еліптичними кришкою та днищем, з суцільною сорочкою, коефіцієнт заповнення 0,7. Перемішування комбіноване – механічною турбінною мішалкою та повітрям через барботер, потужність електродвигуна з редуктором 5 кВт, частота обертання вала мішалки 0,67 с <sup>-1</sup> . | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т |
| КП-15.1    | ТСМ     | Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.   |   |  | Збірний                 |

|      |      |          |        |      |                            |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                            |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                            |  |  |  |  | 117  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | <i>БЕ71мп.065152.01.МД</i> |  |  |  |  |      |

|         |          |   |   |  |                        |
|---------|----------|---|---|--|------------------------|
| КП-15.2 | ТСМ      | Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.  |   |  | Збірний                |
| КП-15.3 | pH-101П  | Датчик рН з вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання рН – 0 – 14. Похибка вимірювання рН ± 1.   |   |  | Збірний                |
| Н-17    |          | Насос для транспортування культуральної рідини відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.  | 1 |  | Збірний                |
| Д-19    |          | Об'ємно-ваговий дозатор для культуральної рідини першої генерації.  | 1 |  | Збірний                |
| Р-20    | ВЕЕ      | Посівний ферментер об'єм 10 м <sup>3</sup> з нижнім зливом. З еліптичними кришкою та днищем, з секційною сорочкою, коефіцієнт заповнення 0,7. Перемішування комбіноване – механічною турбінною мішалкою та повітрям через барботер, потужність електродвигуна з редуктором 5 кВт, частота обертання вала мішалки 0,67 с <sup>-1</sup> . | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н10Т |
| КП-20.1 | ТСМ      | Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.  | 1 |  | Збірний                |
| КП-20.2 | ТСМ      | Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.  | 1 |  | Збірний                |
| КП-20.3 | pH-101П  | Датчик рН з вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання рН – 0 – 14. Похибка вимірювання рН ± 1.   | 1 |  | Збірний                |
| КП-20.4 | ОБМ1-100 | Манометр. Межа вимірювання 0 – 1 МПа. Клас точності 2,5.  | 1 |  | Збірний                |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

БЕ71мп.065152.01.МД

Арк.

118

|         |        |   |   |  |                         |
|---------|--------|---|---|--|-------------------------|
| Д-21    |        | Об'ємно-ваговий дозатор для подрібненої сировини.   | 1 |  | Збірний                 |
| Д-22    |        | Об'ємно-ваговий дозатор для розчину реактиву Фентона.   | 1 |  | Збірний                 |
| Р-23    |        | Гідролізапарат об'ємом 50 м <sup>3</sup> , працює при тиску вище атмосферного.  | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т |
| КП-23.1 | ТСП    | Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.  | 1 |  | Збірний                 |
| Т-24    | СТА    | Теплообмінник розбірний пластинчатого типу на консольній рамі. Поверхня одної пластини 0,5 м <sup>2</sup> .                   | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т |
| КП-24.1 | ТСП    | Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.  | 1 |  | Збірний                 |
| Н-25    | СМ     | Насос для транспортування гідролізату відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу. | 1 |  | Збірний                 |
| В-26    | ВВА    | Випарний апарат плівкового типу з падаючою плівкою, працює при тиску вище атмосферного.                                       | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т |
| КП-26.1 | ТСП    | Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.  | 1 |  | Збірний                 |
| КП-26.2 | MS-100 | Манометр. Межа вимірювання 0 – 1,6 МПа. Клас точності 1.  | 1 |  | Збірний                 |
| В-28    |        | Випарний апарат плівкового типу з падаючою плівкою, працює при атмосферному тиску.  | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т |
| КП-28.1 | ТСП    | Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.  | 1 |  | Збірний                 |
| КП-28.2 | MS-100 | Манометр. Межа вимірювання 0 – 0,25 МПа. Клас точності 1.   | 1 |  | Збірний                 |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

*БЕ71мп.065152.01.МД*

Арк.

119

|         |         |  |   |  |                         |
|---------|---------|--|---|--|-------------------------|
| Н-29    |         | Насос для транспортування гідролізату відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.  | 1 |  | Збірний                 |
| ЗБ-38   |         | Збірник гідролізату. Місткість 63 м <sup>3</sup> .   | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т |
| КП-38.1 | pH-101П | Датчик рН з вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання рН – 0 – 14. Похибка вимірювання рН ± 1.  | 1 |  | Збірний                 |
| Н-39    |         | Насос для транспортування гідролізату на охолодження, відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.  | 1 |  | Збірний                 |
| Т-40    |         | Теплообмінник розбірний пластинчатого типу на консольній рамі. Поверхня однієї пластини 0,5 м <sup>2</sup> .   | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т |
| КП-40.1 | ТСМ     | Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність ±2 °С.   | 1 |  | Збірний                 |
| Д-41    |         | Об'ємно-ваговий дозатор для товарної біомаси.  | 1 |  | Збірний                 |
| Д-42    |         | Об'ємно-ваговий дозатор для поживного середовища.  | 1 |  | Збірний                 |
| Р-43    | ВЕЕ     | Посівний ферментер об'єм 63 м <sup>3</sup> з нижнім зливом. З еліптичними кришкою та днищем, з секційною сорочкою, коефіцієнт заповнення 0,7. Перемішування комбіноване – механічною турбінною мішалкою та повітрям через барботер, потужність електродвигуна з редуктором | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н1 0Т |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

БЕ71мп.065152.01.МД

Арк.

120



|                  |          |  |   |  |                        |
|------------------|----------|--|---|--|------------------------|
|                  |          | 20 кВт, частота обертання вала мішалки $0,67 \text{ c}^{-1}$ .   |   |  |                        |
| КП-43.1          | ТСМ      | Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .   | 1 |  | Збірний                |
| Н-44             |          | Об'ємно-ваговий дозатор для культурально ірідини.  | 1 |  | Збірний                |
| Р-46, Р-47       | ВЕЕ      | Виробничий ферментер об'єм $100 \text{ м}^3$ з нижнім зливом. З еліптичними кришкою та днищем, з секційною сорочкою, внутрішнім теплообмінником, коефіцієнт заповнення 0,7, без механічних перемішуючих пристроїв. | 4 |  | Неірж. сталь 12Х18Н10Т |
| КП-46.1, КП-47.1 | ТСМ      | Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .   | 4 |  | Збірний                |
| КП-46.2, КП-47.2 | pH-101П  | Датчик рН з вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання рН – 0 – 14. Похибка вимірювання рН $\pm 1$ .   | 4 |  | Збірний                |
| КП-46.3, КП-47.3 | ОБМ1-100 | Манометр. Межа вимірювання 0 – 1 МПа. Кластичності 2,5.  | 4 |  | Збірний                |
| КП-46.4, КП-47.4 | ТСМ      | Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 °С. Точність $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .   | 4 |  | Збірний                |
| КП-46.5, КП-47.5 | LZS 1600 | Ротаметр. Діапазон вимірювань 160 – 1600 л/год.  | 4 |  | Збірний                |
| 36-51            |          | Спиртовловлювач – колона з ковпачковими тарілками, що зрошується водою.  | 2 |  | Неірж. сталь 12Х18Н10Т |
| Н-48             |          | Насос для транспортування бражки на сепаратор відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.  | 1 |  | Збірний                |
| Ц-49             | ОГШ      | Центрифуга безперервної дії з  | 1 |  | Неірж.                 |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

БЕ71мп.065152.01.МД

Арк.

121

|                             |          |   |        |      |                                  |
|-----------------------------|----------|---|--------|------|----------------------------------|
|                             |          | шнековим вивантаженням осаду. Продуктивність 35 м <sup>3</sup> /год. Швидкість центрифуги 6000 обертів за хвилину.                                  |        |      | сталь<br>12X18H1<br>0T           |
| Зб-51                       |          | Збірник бражки.<br>Місткість 63 м <sup>3</sup> .  | 1      |      | Неірж.<br>сталь<br>12X18H1<br>0T |
| КП-51.1                     | pH-101П  | Датчик рН з вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання рН – 0 – 14. Похибка вимірювання рН ± 1.   | 1      |      | Збірний                          |
| РК-52                       |          | Бражна колона для ректифікації бражки обладнана решітчастими тарілками провального типу, обігрівается гострою парою, працює при атмосферному тиску. | 1      |      | Неірж.<br>сталь<br>12X18H1<br>0T |
| КП-52.1                     | ТСП      | Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.  | 1      |      | Збірний                          |
| КП-52.2                     | MS-100   | Манометр. Межа вимірювання 0 – 0,25 МПа. Кластичності 1.  | 1      |      | Збірний                          |
| КП-52.3                     | АСП-1    | Ареометр для визначення концентрації етилового спирту. Цінаподілки 0,1 %.   | 1      |      | Збірний                          |
| КП-52.4                     | LZS 1600 | Ротаметр. Діапазон вимірювань 160 – 1600 л/год.   | 1      |      | Збірний                          |
| Дф-53                       | ТМЕ      | Дефлегматор двохсекційний кожухотрубний. Площа поверхні теплообміну 15 м <sup>2</sup> .   | 1      |      | Неірж.<br>сталь<br>12X18H1<br>0T |
| КП-53.1                     | ТСП      | Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.  | 1      |      | Збірний                          |
| Х-54                        | ТМЕ      | Холодильник кожухотрубний. Площа поверхні теплообміну 15 м <sup>2</sup> .   | 1      |      | Неірж.<br>сталь<br>12X18H1<br>0T |
| КП-54.1                     | ТСМ      | Термометр. Межа   | 1      |      | Збірний                          |
|                             |          |   |        |      |                                  |
|                             |          |   |        |      |                                  |
|                             |          |   |        |      |                                  |
| Змн.                        | Арк.     | № докум.  | Підпис | Дата |                                  |
| <i>БЕ 71мп.065152.01.МД</i> |          |   |        |      | Арк.                             |
|                             |          |   |        |      | 122                              |

|         |          |  |   |  |                        |
|---------|----------|--|---|--|------------------------|
|         |          | вимірювання – 20 - 100 °С.<br>Точність ±2 °С.  |   |  |                        |
| Н-55    |          | Насос для транспортування водно-спиртової суміші відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу. | 1 |  | Збірний                |
| РК-56   |          | Ректифікаційна колона обладнана решітчастими тарілками провального типу, обігрівается гострою парою, працює при атмосферному тиску.      | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н10Т |
| КП-56.1 | ТСП      | Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С.<br>Точність ±2 °С.  | 1 |  | Збірний                |
| КП-56.2 | MS-100   | Манометр. Межа вимірювання 0 – 0,25 МПа. Клас точності 1.  | 1 |  | Збірний                |
| КП-56.3 | АСП-1    | Ареометр для визначення концентрації етилового спирту. Ціна поділки 0,1 %.   | 1 |  | Збірний                |
| КП-56.4 | LZS 1600 | Ротаметр. Діапазон вимірювань 160 – 1600 л/год.  | 1 |  | Збірний                |
| Дф-57   |          | Дефлегматор двохсекційний кожухотрубний. Площа поверхні теплообміну 15 м <sup>2</sup> .  | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н10Т |
| КП-57.1 | ТСП      | Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С.<br>Точність ±2 °С.  | 1 |  | Збірний                |
| Н-58    |          | Насос для транспортування етилового спирту відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу.       | 1 |  | Збірний                |
| РК-59   |          | Метанольна колона, що обладнана решітчастими тарілками провального типу, обігрівается глухою парою,                                      | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н10Т |

|      |      |          |        |      |                      |  |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                      |  |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      |  |  |  |  |  | 123  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БЕ 71мп.065152.01.МД |  |  |  |  |  |      |

|         |          |  |   |  |                        |
|---------|----------|--|---|--|------------------------|
|         |          | працює при атмосферному тиску.   |   |  |                        |
| КП-59.1 | ТСП      | Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.   | 1 |  | Збірний                |
| КП-59.2 | MS-100   | Манометр. Межа вимірювання 0 – 0,25 МПа. Класточності1.  | 1 |  | Збірний                |
| КП-59.3 | АСП-1    | Ареометр для визначення концентрації етилового спирту. Ціна поділки 0,1 %.   | 1 |  | Збірний                |
| КП-59.4 | LZS 1600 | Ротаметр. Діапазон вимірювань 160 – 1600 л/год.  | 1 |  | Збірний                |
| КП-59.5 | АСП-1    | Ареометр для визначення концентрації метилового спирту. Ціна поділки 0,1 %.  | 1 |  | Збірний                |
| Дф-60   |          | Дефлегматор двохсекційний кожухотрубний. Площа поверхні теплообміну 15 м <sup>2</sup> .  | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н10Т |
| КП-60.1 | ТСП      | Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.   | 1 |  | Збірний                |
| Т-61    | ТМЕ      | Теплообмінник кожухотрубний. Площа поверхні теплообміну 15 м <sup>2</sup> .  | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н10Т |
| КП-61.1 | ТСП      | Термометр. Межа вимірювання – 50 - 250 °С. Точність ±2 °С.   | 1 |  | Збірний                |
| Н-62    |          | Насос для транспортування етилового спирту відцентровий горизонтальний консольний одноступеневий з робочим колесом закритого типу. | 1 |  | Збірний                |
| Зб-63   |          | Збірник етилового спирту. Місткість 63 м <sup>3</sup> .  | 1 |  | Неірж. сталь 12Х18Н10Т |

|      |      |          |        |      |                     |  |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------|--|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                     |  |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                     |  |  |  |  |  | 124  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БЕ71мп.065152.01.МД |  |  |  |  |  |      |

## Коротка санітарна характеристика підприємства, що проектується

|    |   |
|----|---|
| 1  | Назва виробничої дільниці, лабораторії, установки               |
| 2  | Шкідливі речовини, що виділяються, причини їх виділення         |
| 3  | Група шкідливої речовини, характеристика шкідливого впливу      |
| 4  | ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони                   |
| 5  | Клас небезпечності шкідливої речовини                           |
| 6  | Засоби індивідуального захисту: тип, марка, ГОСТ                |
| 7  | Засоби долікарної допомоги                                      |
| 8  | Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони |
| 9  | Клас підприємства згідно з СН 245-71                            |
| 10 | Санітарна група виробничого процесу згідно зі СНиП 2.09.04-87   |

|  |  |   |                        |   |   |  |                         |   |    |
|--|--|---|------------------------|---|---|--|-------------------------|---|----|
| Лабораторія вирощування дріжджів, цех зброджування | Дріжджові клітини, які можуть потрапляти у повітря при посіві або відкритті-закритті кришки ферментера | Біологічні, викликають алергічні захворювання                     | 5000 кл/м <sup>3</sup> | 3 | Спецодяг, респіратор ШБ ГОСТ 12.4.004-74; халат бавовняний ГОСТ 12.4.103-83 | Антиалергічні препарати                            | Мікробіологічний аналіз | 2 | 4  |
| 1  | 2  | 3   | 4                      | 5 | 6   | 7  | 8                       | 9 | 10 |
| Цех приготування розчину реактиву Фентона          | Реактив Фентона, порушення герметичності гідролізного апарату  | Подразнюючі. Подразнення слизових оболонок, очей, органів дихання | 0,5 мг/м <sup>3</sup>  | 1 | Окуляри по ГОСТ 12.4.013-85, рукавиці гумові по ГОСТ 3-88, марлева пов'язка | Промивання ураженого місця великою кількістю води. | Газоаналізатор УГ-1     | 2 | 2  |

|                |   |   |                       |   |                                      |   |   |   |    |
|----------------|---|---|-----------------------|---|--------------------------------------|---|---|---|----|
| Виробничий цех | Пари фурфуролу, порушення герметичності нейтралізаторів   | Загальнотоксичні. Викликають асфіксію, отруєння всього організму, порушення ЦНС | 0,3 мг/м <sup>3</sup> |   | Респіратор «Пелюсток» ГОСТ 12.4.02.8 | Постраждало говинести на свіже повітря<br>Привідсутно стідианняш тучнедиання з рота в рот.<br>Привідсутно сті пульсу – непрямий масаж серця | Газоаналізатори ДАК з блоками БПС-21М та інші прилади |   |    |
| 1              | 2   | 3   | 4                     | 5 | 6                                    | 7   | 8   | 9 | 10 |
| Виробничий цех | Вуглекислий газ, порушення герметичності бродильних чанів | Загальнотоксичні. Отруєння всього організму                                     | 0,9 мг/м <sup>3</sup> | 1 | Респіратор «Пелюсток» ГОСТ 12.4.02.8 | Промивання шлунку розчином марганцево-кислого калію   | Датчики - газоаналізатори ДАК з блоками БПС-21М       | 2 | 2  |

|                     |  |   |                           |   |  |   |                                      |   |   |
|---------------------|--|---|---------------------------|---|--|---|--------------------------------------|---|---|
| Цех<br>ректифікації | Етиловий<br>спирт,<br>порушення<br>герметично<br>сті<br>ректифікацій<br>ної колони | Загального<br>кисні.<br>Наркотична<br>дія,<br>порушення<br>ЦНС. | 1000<br>мг/м <sup>3</sup> | 4 | Респіратор<br>«Пелюсток<br>» ГОСТ<br>12.4.02.8 | Промивання<br>шлунку.<br>Свіже<br>повітря.<br>Вдихання<br>аміаку.<br>Всередину<br>5-10<br>крапель<br>аміаку з<br>водою. | Датчики<br>газоаналі<br>затори<br>ю. | 2 | 4 |
|---------------------|--|---|---------------------------|---|--|---|--------------------------------------|---|---|



Таблиця 7.4

Показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин та матеріалів. Класифікація виробництва щодо пожежо- і вибухонебезпечності та влаштування блискавкозахисту

| Назва виробничої ділянки, приміщень | Речовини, що мають бути у виробництві, ГОСТ (ДСТУ) | Агрегатний стан речовин в нормальних умовах | Горючість, займистість  | Показники пожежо- і вибухонебезпечності, °С |                          |                              | Межа заpalення    |            | Вибухонебезпечні суміші з повітрям |       | Вогнегасні засоби                                | Категорія приміщення за НАПБ Б.03.002-2007 | Клас приміщення/зони/ і зовнішніх установок згідно з ПУЕ | Категорія об'єктів і тип зони захисту і влаштування блискавкозахисту згідно з БНЗ05-77 |
|-------------------------------------|--|---|-------------------------|---|--------------------------|------------------------------|-------------------|------------|------------------------------------|-------|--|--|--|--|
|                                     |  |   |                         | Температура спалаху, °С                     | Температура займання, °С | Температура самозаймання, °С | мг/м <sup>3</sup> | % об'ємних | Категорія                          | Група |  |  |  |  |
| Виробничий цех                      | Біоетанол (99,2 % об), ДСТУ 320.00149 943.015-2000 | Рідина                                      | Горючий, легкозаймистий | 13,3 -16                                    | 18                       | 404                          | -                 | 3,6 - 19   | ПВ                                 | Т2    | Вогнегасник, пісок, войлочна або азбестова кошма | Г  | П-1  | Ш А  |
|                                     | Метилети лкетон                                    | Рідина                                      | Горючий, легкозаймистий | -2,2  | -6                       | 505                          | -                 | 1,8- 11,5  | ПА                                 | Т1    | Вогнегасник, пісок, розпилювальна вода           |  |  |  |

|  |                             |                        |                  |     |     |     |    |      |   |   |                              |  |      |     |
|--|-----------------------------|------------------------|------------------|-----|-----|-----|----|------|---|---|------------------------------|--|------|-----|
|  | Гетінакс<br>ГОСТ<br>2718-74 | Тверда<br>речовин<br>а | Важкого<br>рючий | 280 | 370 | 480 | 40 | 1300 | - | - | Пісок,<br>двоокис<br>вуглецю |  | П-Іб | Ш Б |
|--|-----------------------------|------------------------|------------------|-----|-----|-----|----|------|---|---|------------------------------|--|------|-----|